单英杰 编



家用电器中的

单相电动机

内 容 提 要

不少家用电器的心脏是单相电动机。如电风扇、电唱机、电动缝纫机和吸尘器等家用电器以及手电钻等电动工具都是采用单相电动机。本书系统地讲解了各种类型单相电动机的工作原理和结构，分析了它们在结构上的特点和运行性能，讨论了它们的简易计算方法，还着重介绍了它们的使用规则和维修方法。

本书通俗易懂，深入浅出，理论联系实际。可供从事电机、电器修理的同志和厂矿电工参考。

家用电器中的单相电动机

单英杰 编

责任编辑：陈清山

*

湖南科学技术出版社出版

（长沙市展览馆路14号）

湖南省新华书店发行　　湖南省新华印刷一厂印刷

*

1982年10月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：9 插表：1 字数：207,000

印数：1——16,400

统一书号：15204·85　定价：0.95元

前　言

随着“四化”建设的发展和人民生活水平的提高，电风扇、电唱机、洗衣机和电动缝纫机等家用电器日益普及。在生产中，手提电钻等电动工具也已成为实现手工操作机械化的一种重要手段。而它们大都采用各种类型的单相电动机作动力。

在这种情况下，各方面都希望更多地了解家用电器和电动工具中常用的各种类型单相电动机的基本原理、结构特征及其使用方法与维修知识。特别是作者编著的《小型同步发电机》一书出版发行后，收到了全国各地不少读者的来信，要求比较系统地介绍单相电动机方面的知识。因此，编写了《家用电器中的单相电动机》一书，供读者参考。

本书比较系统地讲解了常用的各种类型单相电动机的基本原理和结构；着重介绍了它们的基本特性、参数选择、用途及其使用规则；简化了数学公式的推导，着重于物理概念的阐述。另外还汇集整理了计算方法，并附有计算应用例题。文字力求通俗易懂、深入浅出，尽可能地联系实际，并结合现有产品，介绍一些简易可行的维修方法。

本书的描图工作由湖南电机厂技术科张子光同志协助完成，作者谨此表示谢意。

作　者　单英杰

一九八二年八月于

湖南省沅江造纸厂动力科

目　　录

第一章　单相异步电动机的工作原理

第一节　电流的磁效应

我们将一根通了电流的导线放在磁场中，那么这根导线便会朝着与磁场的磁力线相垂直的方向移动，这就是电动机的基本原理。那么，磁场中的载流导线为什么会在磁场中运动呢？这是因为导线中有电流流过时，便在该导线的周围产生磁场，这个磁场与原来的磁场相互作用便产生了上述现象。

一、右手螺旋定则

当电流在导线中通过时，导线的周围就会产生磁场。若改变导线中电流的方向，其磁场的方向也随之改变，若改变导线中电流的大小，则导线周围磁场的强弱也随之改变。

单根导线中通过电流时，如图1—1—1(a)所示，它产生磁场的方向可以这样来确定：用右手握住导线，使大拇指的方向

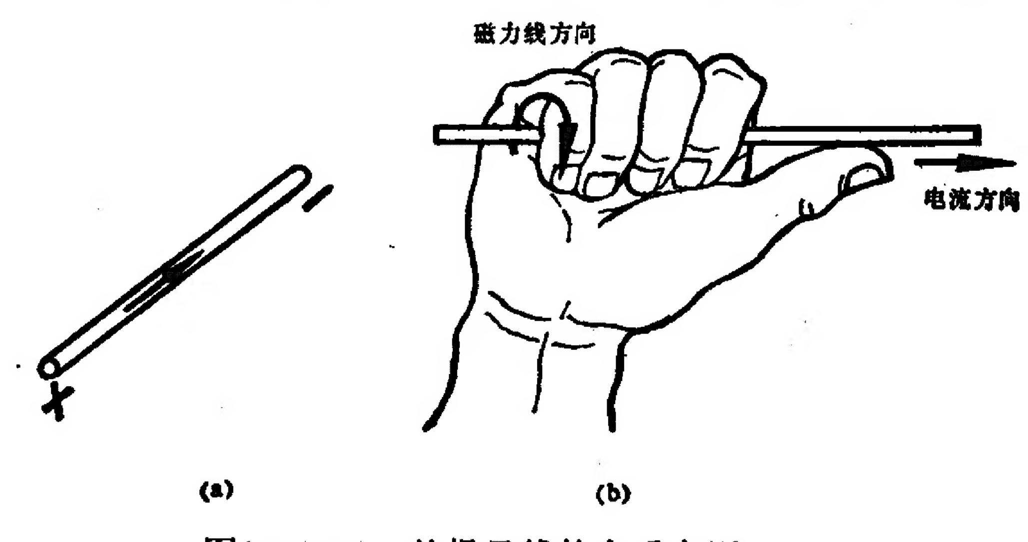


图1—1—1　单根导线的右手定则

指着导线中电流通过的方向，那么，弯曲的其余四指的方向便是磁力线的方向，如图1—1—1(b)所示。这就叫做单根导线的右手定则。

上述单根导线的右手定则也可以用右手螺旋定则来代替，如图1—1—2所示。如果螺旋前进或后退的方向表示导线中电流的方向，那么，螺旋柄旋转的方向，就是导线通以电流后在周围产生的磁场的磁力线的方向。

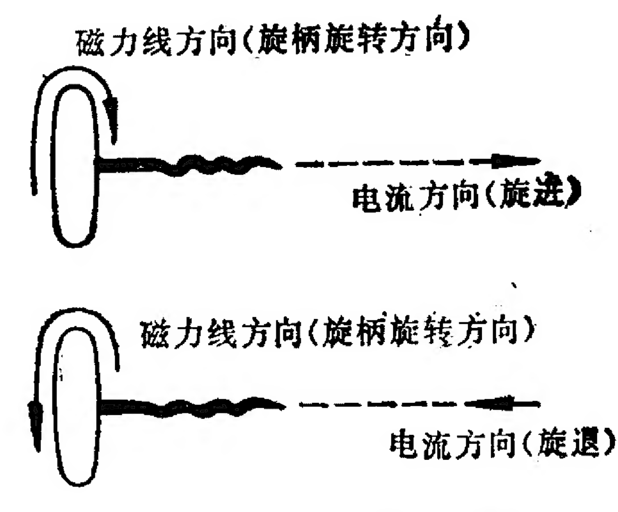


图1—1—2　单根导线的右手螺旋定则

为方便明确起见，电流和磁场的方向，常常采用截面图表示法，如图1—1—3所示。导线中的电流进入纸面(或称离开读者)，用符号⊕表示；导线中电流离开纸面(或称指向读者)，用符号⊙表示。那么导线周围的同心圆表示磁力线，图中箭头表示磁力线的方向。

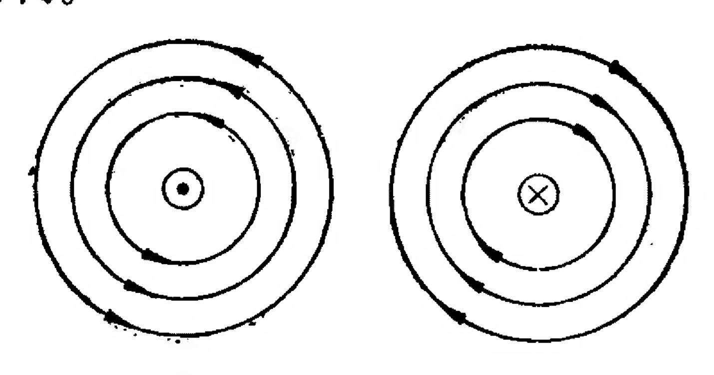


图1—1—3　用截面法表示导线电流方向和磁场方向

为了获得较强的磁场，通常将导线绕制在铁芯上，如图1—1—4所示。线圈中的电流与它所产生的磁力线的方向也可用右手螺旋定则来确定：用右手握住线圈，弯曲的四指表示线圈电流方向，垂直于四指的大拇指的指向就是磁力线的方向。

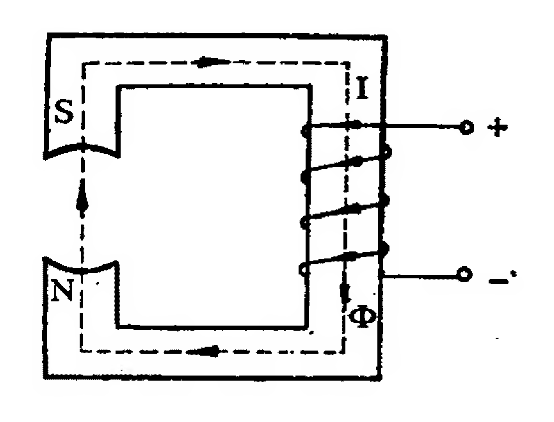


图1—1—4　电流通过铁芯所产生的磁场

二、磁动势、磁场强度和磁通密度

大家知道，要使导体通过电流，必须有一定的电动势（简称电势)。同样，要使线圈产生磁力线，也必须有一定的磁动势(简称磁势)。人造永久磁铁和电磁铁都是用通电的线圈来磁化的，通电线圈中电流与线圈匝数的乘积，通常用“安培匝数”(简称安匝)来表示。这就是通电线圈的磁动势。

图1—1—4中磁力线所通过的闭合路径称为磁路。作用于单位磁路长度的磁动势叫做磁场强度或叫做磁化力，顾名思义，磁场强度是表征磁场强弱的一个物理量，通常用字母H表示，并有：

$$H=\frac{NI}{l}(\text{安匝/厘米})$$

式中：N ——线圈匝数(匝)；

I ——线圈中的电流(安)；

l ——磁路的平均长度(厘米)。

通过某一与磁力线垂直的截面的磁力线数叫做磁通，通常用字母Φ表示，磁通的单位是“马克斯韦尔”，简称“马”。磁通的较大单位是“韦伯”。

$$1\text{韦伯} = 10^8\text{马}$$

通过与磁力线的方向垂直的单位面积的磁力线的根数，叫做磁通密度，也称做磁感应强度，通常用字母B表示，并有：

$$B = \frac{\phi}{S}$$

式中：ϕ——磁通(马)；

S——与磁力线垂直的截面积(厘米^2)；

B——磁通密度(高斯)。

1高斯表示每平方厘米面积有一马的磁力线穿过。1000高斯就是每平方厘米面积有1000马的磁力线穿过。

磁场强度H与磁通密度B具有如下关系：

$$B = \mu H$$

式中：μ——导磁率(高斯·厘米/安)，它表征着物质的导磁性能。

钢铁的导磁率μ值很高，磁力线容易通过，它是导磁物质，因而通常用钢铁作磁力线的通道。

若在螺线管中插入软铁芯，便形成了电磁铁，通以电流，则电磁铁显示出磁性；切断电流，则磁性消失。由于电磁铁的磁性易于控制，因而获得了极为广泛的应用。例如电动机、发电机、电铃、电磁型继电器、起重磁铁等都应用了电磁铁。

在技术应用上，通常把铁磁物质分为硬磁性材料与软磁性材料两类。高碳钢和特种铁合金(如含铁65%，镍25%，铝10%的合金)等，是硬磁性材料，适合于做永久磁体。而软铁、硅钢、铁镍合金等是软磁性材料，适合于做暂时磁体，如变压器和电机的铁芯等。

三、左手定则

如果将图1—1—1(a)中的载流导线置于图1—1—4所示的磁场中，如图1—1—5(a)所示。导线左边，载流导线所产生的

磁场与磁极磁场的方向相反，磁力线被抵消一部分，因而磁力线变稀了，其合成磁场削弱了；而导线右边，载流导线所产生的磁场与磁极磁场的方向相同，磁力线叠加，因而磁力线变密了，其合成磁场增强了，结果造成导线右边磁力线的弯曲现象，如图1—1—5(b)所示。

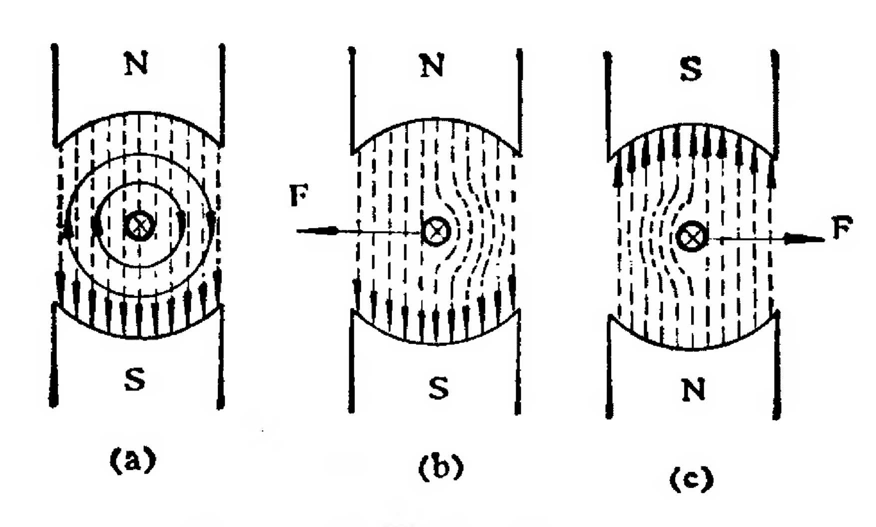


图1—1—5　载流导线在磁场中

大家知道，一切磁力线都有把自己收缩至最短的趋势。在图1—1—5(b)所示的情形下，当弯曲的磁力线收缩拉直时，就好像导线受到一个向左的压力似的，便将导线挤向左边直至离开磁场。假如改变图1—1—5(b)中导线的电流方向，或者改变磁极磁场的方向(二者不同时改变)，则导线的左边磁力线加密，形成弯曲，将导线推向右边运动，如图1—1—5(c)所示的情形。

为了便于掌握磁场方向、电流方向以及磁场对电流作用力方向三者之间的关系，可以应用下述左手定则：将左手平伸，让拇指与其余四指垂直，并且都和手掌在同一平面上，将手心对着磁场的N极，让磁力线从手心进入，四指的方向表示导线中电流的方向，那么，拇指的方向便是磁场对载流导线作用力的方向，也就是导线在磁场中的运动方向，这就是所谓左手定则，

又称电动机定则，如图1—1—6所示。

实验证明，图1—1—6中，载流导线在磁极磁场中所受作用力的大小F可写成：

$$F = BIl$$

式中：B ——磁通密度；

I ——导线中的电流；

l ——导线的有效长度。

如果载流导线与磁极磁场的磁力线之间的夹角为θ，如图1—1—7所示。那么，该导线在磁场中所受作用力F为：

$$F = BIl\sin\theta$$

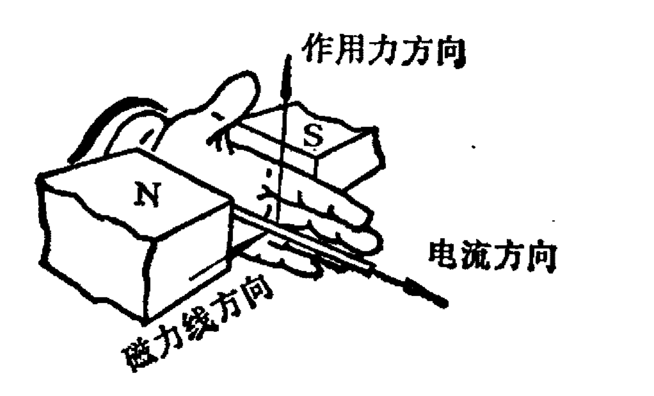


图1—1—6　左手定则

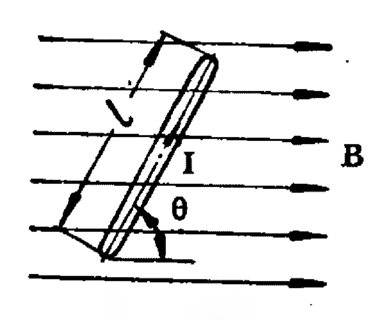


图1—1—7　与磁场成θ角的载流导线的运动

磁场中的导线有两种方法获得电流：第一种方法是将导线与电池或其他电源组成一个回路，由该电源直接向磁场中的导线供给电流，如图1—1—8(a)所示。第二种方法是将磁场中的导线自成闭合回路，并把它放在通有交流电流的线圈附近，由于电磁感应而在该导线回路中产生感应电流。如图1—1—8(b)所示。

根据上述磁场中导线产生电流的两种方法，电动机可以归纳为两种基本型式：第一种型式的电动机，它的转子与电源不

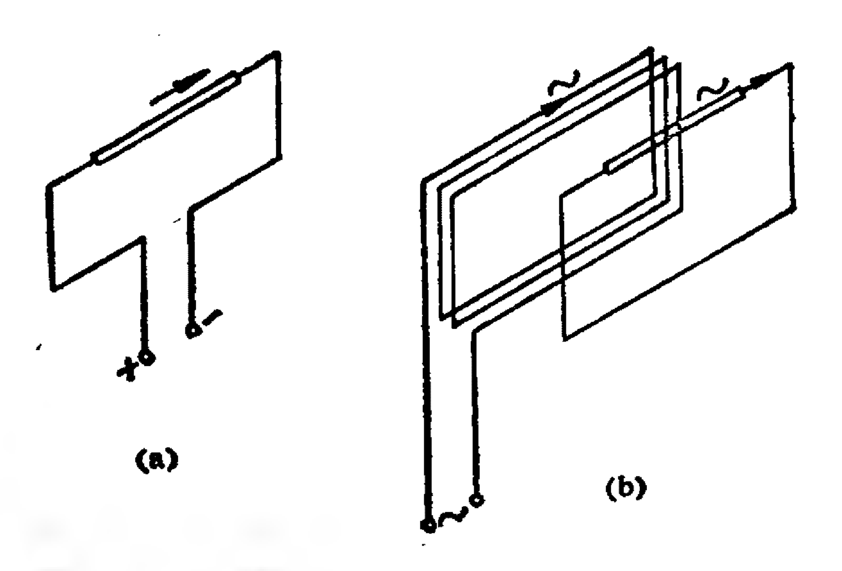


图1—1—8 磁场中导线产生电流的两种方法

连接，转子中的电流由于感应作用而产生，所以这种电动机叫做感应电动机，又称为异步电动机。目前，大多数交流电动机都做成感应电动机。第二种型式的电动机，它的转子线圈与电源相连接，在这种电动机中必须具备炭刷与换向器，以便将电流导入旋转的转子线圈中，所以这种电动机叫做换向器式电动机。本书第四章将要讨论的单相串激式电动机就是换向器式电动机的一种。

四、右手定则

当导线在磁场中运动或磁场在导线周围运动，二者相互切割时，就会在导线内产生感应电动势，这种现象就称为电磁感应。如果导线是闭合的，那么，在感应电动势的作用下，就会产生电流，这个电流就叫做感应电流。

感应电动势的方向可用“右手定则”来确定，如图1—1—9所示。伸开右手，让拇指与其余四指垂直，并且跟手掌在同一平面内，将右手放入磁场中，手心对着磁场的N极，拇指指向导线的运动方向，此时，其余四指所指的方向就是感应电动势的方向。

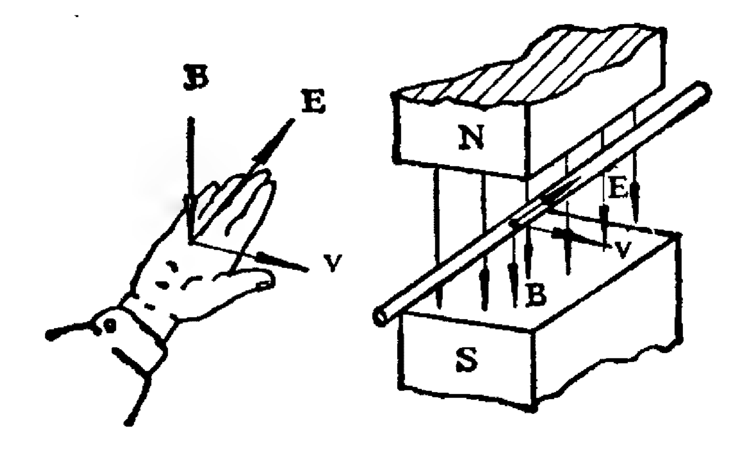


图1—1—9　右手定则

实验证明，其感应电动势为：

$$e = Blv\sin\alpha$$

式中：e ——感应电动势（伏）；

B ——磁通密度（韦伯/米²）；

l ——导线有效长度（米）；

v——导线运动速度（米/秒）；

α ——导线运动方向与磁力线方向的夹角。如图1—1—10所示。

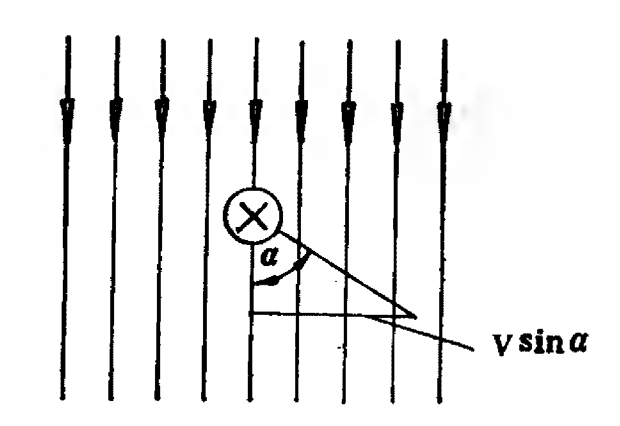


图1—1—10　导线与磁力线成α角运动

由此可见：

1. 磁场愈强，感应电动势便愈大。

2. 导线切割磁力线的速度愈快，感应电动势也愈大。

3. 导线的有效长度愈长，感应电动势也愈大。

4. 导线运动方向与磁力线方向垂直时，角度$\alpha=90°$，$\sin\alpha=1$，则感应电动势为最大值。导线运动方向与磁力线方向平行时，角度$\alpha=0°$，$\sin\alpha=0$，则感应电动势为零，实际上，导线没有切割磁力线。

第二节 脉动磁场与旋转磁场

旋转磁场是异步电动机工作的基础。磁场是由磁势产生的，正像电路中电动势是产生电流的原动力一样，磁势则是产生磁通、建立磁场的源泉。

一、单相脉动磁势

我们先讨论整距集中绕组所产生的磁势。图1—2—1(a)为一台两极电动机的磁场示意图。为简明起见，只在定子上画出

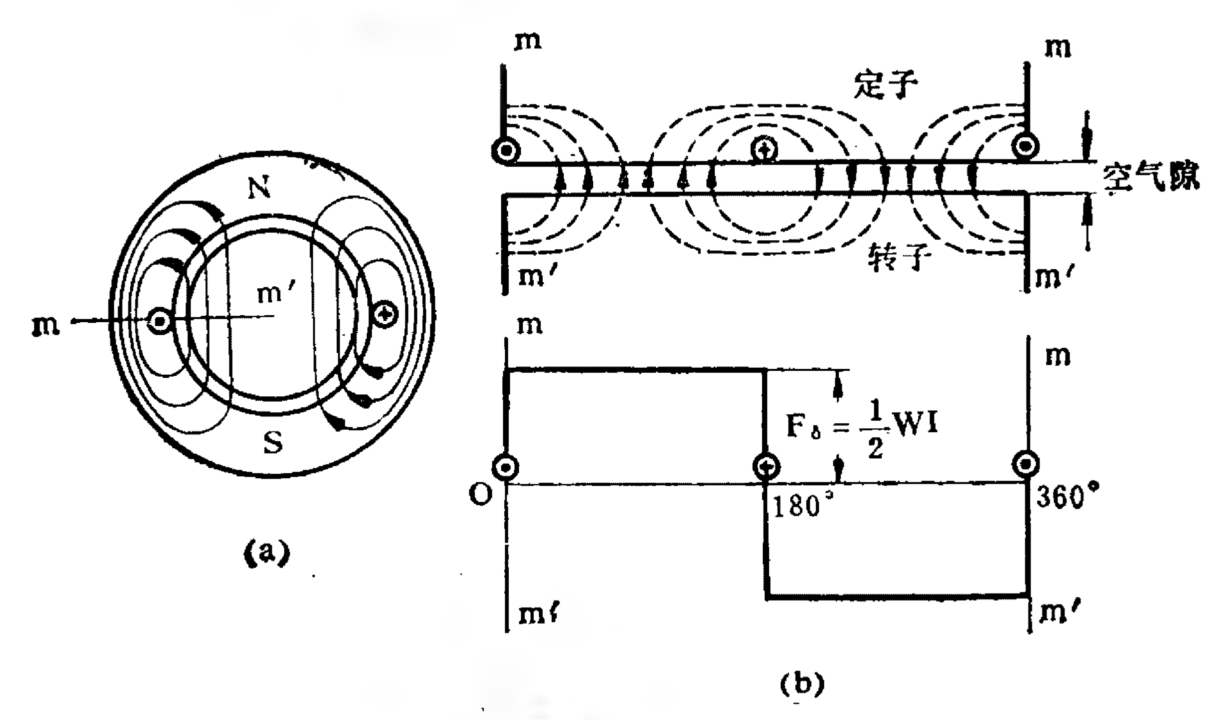


图1—2—1 整距绕组的脉动磁势

了A相的整距集中绕组。当绕组中通过直流电流时，便产生一个两极磁场，根据右手螺旋定则，磁场的方向如图1—2—1(a)所示，其磁场的强弱由绕组的匝数和通过绕组的电流来决定。假设绕组中通以直流电流 I，则绕组的匝数W与绕组中电流I的乘积WI就叫做磁势，这一磁势在空间的分布为一矩形波，如图1—2—1(b)所示。该磁势作用在电机的磁路上，由于铁芯是良好的导磁体，磁阻很小，所以总的磁势可以认为全部消耗在两个空气隙中，作用在每一空气隙中的磁势便为(1/2) WI。又因为电机的定子和转子是同心圆柱体，定子与转子之间的气隙是均匀的，所以沿气隙分布的磁势波便为一矩形波，而且从定子流入空气隙的磁通一定等于从空气隙中流入定子的磁通，所以图1—2—1(b)中所示的矩形波的正环与负环必定相等，这个矩形波的高度 $f=(1/2)WI$(安匝/极)，而且对时间来说是恒定不变的。然而，在异步电动机绕组中，流过的是一正弦交变电流，($i=\sqrt{2}I\sin\omega t$)，电流的大小和方向都在随时间而变化，因此，矩形波的高度也将随时间而变化，即：

$$f=\frac{1}{2}Wi=\frac{1}{2}\sqrt{2}IW\sin\omega t$$
$$=F\sin\omega t \qquad (1—2—1)$$

由上式可以看出，当$\omega t=0$时，电流为零，则F也为零；当$\omega t=90°$时，电流有最大值，则F也为最大值；当$\omega t>180°$时，电流为负值，磁势也随之改变方向，F也为负值。磁势随时间的变化情况如图1—2—2所示。

由图1—2—2可以看出，在任何瞬间，磁势的空间分布为一矩形波。这一矩形波磁势的振幅与电流的瞬时值成正比，也就是说，它对时间是按正弦规律脉动的。我们把这种空间位置固定而大小随时间变化的磁势叫做脉动磁势。

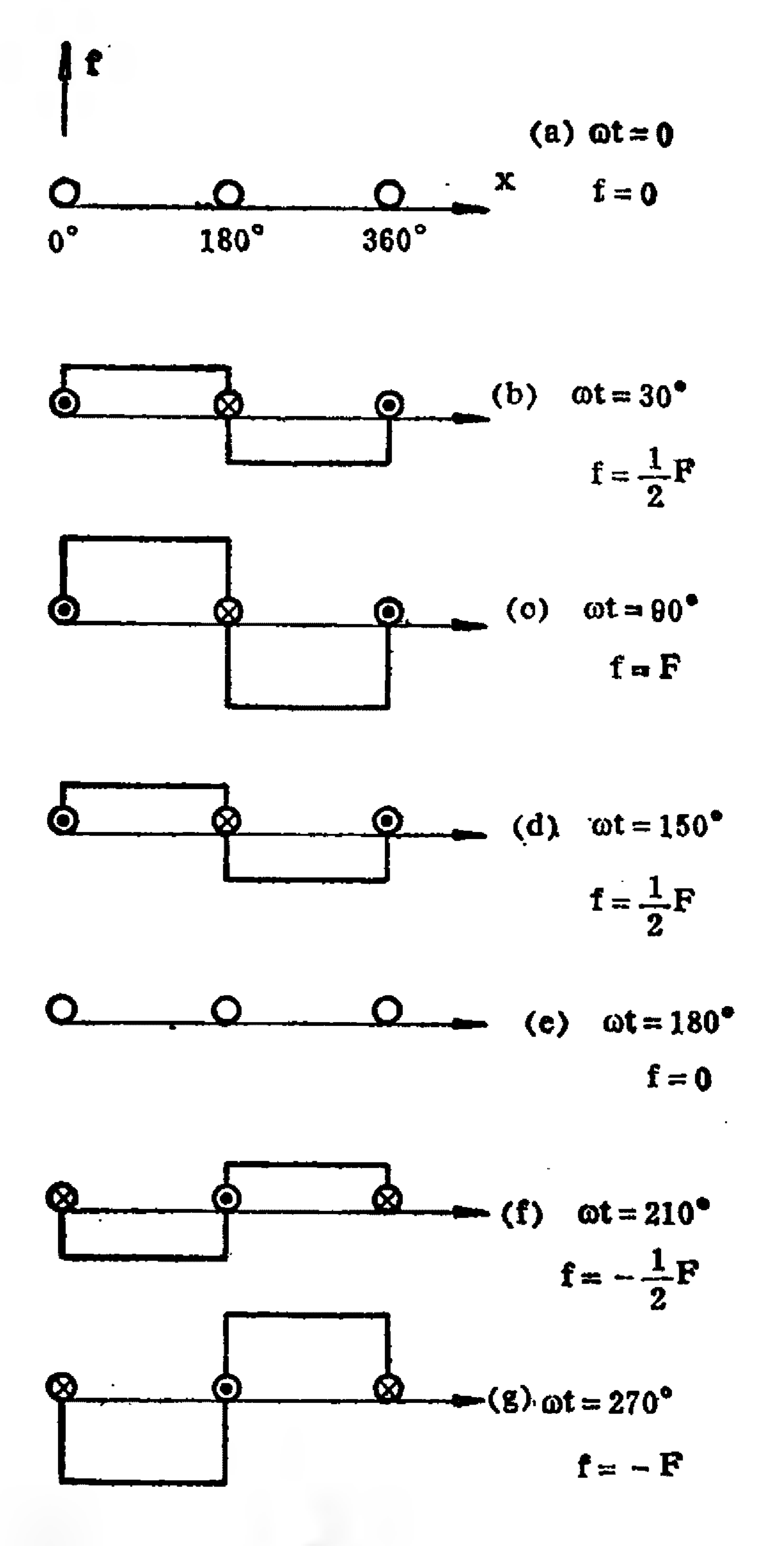


图1—2—2　磁势随时间按正弦规律脉动

需要指出，在理解脉动磁势这个概念时，要把时间关系和空间关系区别清楚，在任何瞬间，磁势波的空间分布总是一个

矩形波，在空间任一点的磁势则将对时间按正弦规律变化。如果把空间矩形波分解为富里埃级数，则得：

$$f=\frac{1}{2}\sqrt{2}\,I\sin\omega t\cdot\frac{4}{\pi}\left[\sin x+\frac{1}{3}\sin 3x+\frac{1}{5}\sin 5x+\cdots\cdots\right]$$

$$=0.9I\sin\omega t\left(\sin x+\frac{1}{3}\sin 3x+\frac{1}{5}\sin 5x+\cdots\cdots\right)\quad(1-2-2)$$

实际上，异步电动机多为分布绕组，设绕组分布于 q 个槽中，又设每槽中有 S 根导体，那么将各个矩形磁势波相加后所得的合成磁势为一阶梯波，如图1—2—3所示。

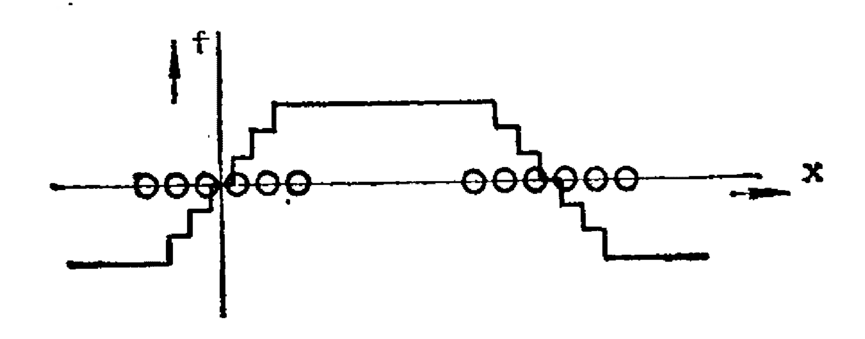


图1—2—3　单相分布绕组的脉动磁势

在这种情况下，若用数学公式表示时，可先将各个矩形波分解为富里埃级数，然后把各次谐波分别相加。由于采用了分布绕组，所以把各次谐波相加时都应分别乘上相应的分布系数 k_p，由此得到：

$$f=0.9SqI\sin\omega t\left(K_{p1}\sin x+\frac{1}{3}K_{p3}\sin 3x+\frac{1}{5}K_{p5}\sin 5x+\cdots\cdots\right)\quad(1-2-3)$$

又考虑到上述单相绕组可能为短距双层绕组，此时，则把上下两层导体的磁势相加时，应再乘上相应的短距系数 k_y，则单相脉动磁势的普遍表达式为：

$$f=0.9SqI\sin\omega t\left(K_{p1}K_{y1}\sin x+\frac{1}{3}K_{p3y}K_3\sin 3x+\frac{1}{5}K_{p5}K_{y5}\sin 5x+\cdots\cdots\right)=0.9SqI\sin\omega t\left(K_{o\delta 1}\sin x+\frac{1}{3}K_{o\delta 3}\sin 3x+\frac{1}{5}K_{o\delta 5}\sin 5x+\cdots\cdots\right)\quad(1—2—4)$$

式中：$K_{o\delta}=K_y\cdot K_p$——绕组系数。

我们从式（1—2—4）中取出空间磁势波中的基波分量，即：

$$f_1=0.9K_{o\delta 1}Sq\sin\omega t\sin x=F_{m1}\sin\omega t\sin x\quad(1—2—5)$$

式中：$F_{m1}=0.9K_{o\delta 1}SqI$——脉动磁势的基波振幅。

由此可见，单相绕组产生的基波磁势仍是一个脉动磁势。

二、三相基波旋转磁势

众所周知，三相绕组是三个对称的单相绕组组成的，这三个单相绕组分别产生脉动磁场，它们的磁轴彼此相距120°电角度，若在三相对称绕组中通以三相平衡电流，且令其相序为 a 、b 、c ，则有：

$$\left.\begin{aligned}i_a&=\sqrt{2}I\sin\omega t\\i_b&=\sqrt{2}I\sin(\omega t-120°)\\i_c&=\sqrt{2}I\sin(\omega t+120°)\end{aligned}\right\}\quad(1—2—6)$$

那么，电机气隙中的合成磁势为这三个脉动磁势的和。对于各相脉动磁势，我们仅取基波分量，它们的空间分布情况如图1—2—4所示。由图1—2—4可见，各相脉动磁势并不同时达到最大值，例如当f_a达到最大值F_m时，f_b和f_c便各为$-\frac{1}{2}F_m$。根据三角恒等式，可将式（1—2—5）分解为：

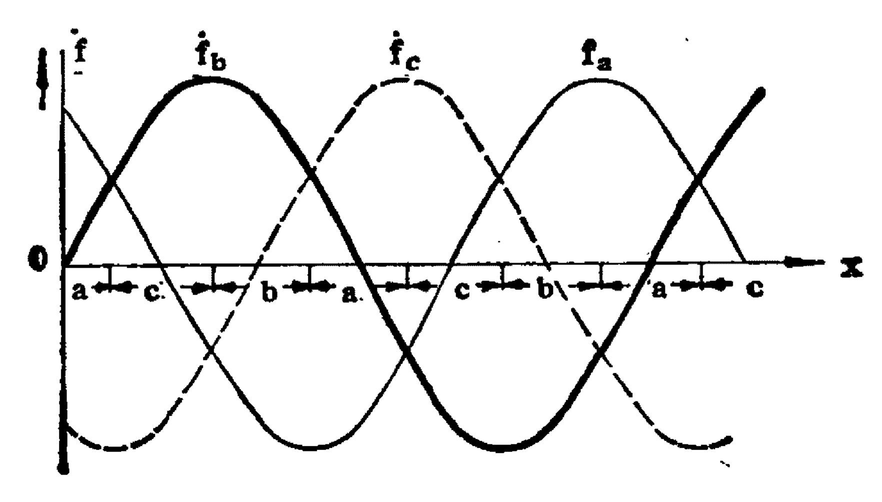


图1—2—4　三相脉动磁势的分布

$$
\left.\begin{aligned}
f_a &= F_{m1}\sin x\sin\omega t \\
&= \frac{1}{2}F_{m1}\cos(\omega t - x) - \frac{1}{2}F_{m1}\cos(\omega t + x) \\
f_b &= F_{m1}\sin(x - 120^\circ)\sin(\omega t - 120^\circ) \\
&= \frac{1}{2}F_{m1}\cos(\omega t - x) - \frac{1}{2}F_{m1}\cos(\omega t + x + 120^\circ) \\
f_c &= F_{m1}\sin(x + 120^\circ)\sin(\omega t + 120^\circ) \\
&= \frac{1}{2}F_{m1}\cos(\omega t - x) - \frac{1}{2}F_{m1}\cos(\omega t + x - 120^\circ)
\end{aligned}\right\} \quad (1—2—7)
$$

由式（1—2—7）可见，三相电流所产生的正向旋转磁场都为$(1/2)F_{m1}\cos(\omega t - x)$，而其中的逆向旋转磁场彼此相差120°电角度，所以，当要求三相合成磁势而将各相脉动磁势相加时，则是正序旋转磁场直接相加，而逆序旋转磁场恰好相互抵消，因此有：

$$
f = f_a + f_b + f_c = \frac{3}{2}F_{m1}\cos(\omega t - x) \quad (1—2—8)
$$

由此可见，当一平衡三相电流通过三相对称绕组时，将在电机的气隙中产生一个旋转磁场，这个旋转磁场的振幅为每相脉动磁场振幅的3/2倍。若要求这一旋转磁场的旋转速率，可设：

$$\omega t - x = \text{const}$$

一次微分：

$$\left.\begin{aligned} &\omega dt - dx = 0 \\ \text{则有：}\ &\omega dt = dx \\ \text{故得：}\ &\frac{dx}{dt} = \omega\left(\frac{\text{电角度}}{\text{秒}}\right) \end{aligned}\right\} \quad (1\text{—}2\text{—}9)$$

由式（1—2—8）所示的旋转磁场，其旋转方向是沿着 x 增加的方向，即由 a 相旋转到 b 相，再由 b 相旋到 c 相。

假如我们改变电流的相序，如：

$$i_a = \sqrt{2} I \sin \omega t$$

$$i_b = \sqrt{2} I \sin(\omega t + 120°)$$

$$i_c = \sqrt{2} I \sin(\omega t - 120°)$$

则用同样的方法推导出合成磁势为：

$$f = \frac{3}{2} F_{m1} \cos(\omega t + x)$$

此时，旋转磁场的旋转速率为：

$$\omega t + x = \text{const}$$

$$\omega dt + dx = 0$$

$$\omega dt = -dx$$

$$\therefore \quad -\frac{dx}{dt} = \omega$$

这时旋转磁场便朝着 x 减少的方向旋转，即由 c 相旋转到

b 相，再由 b 相旋转到 a 相。

综上所述，旋转磁场的旋转方向总是由带有超前电流的相转向带有滞后电流的相。

为加深理解，下面以一台三相两极异步电动机为例，说明三相对称绕组通入对称电流所产生的旋转磁场的情况。电动机的三相对称定子绕组由A—X、B—Y和C—Z组成，它们在空间彼此相隔120°电角度。若在定子绕组中通以对称三相电流时，则有：

$$i_a = I_m \sin\omega t$$

$$i_b = I_m \sin(\omega t - 120°)$$

$$i_c = I_m \sin(\omega t + 120°)$$

各相电流随时间的变化曲线如图1—2—5所示。假设电流为正值时，电流从线圈的首端流入，用符号⊕表示，从尾端流出，

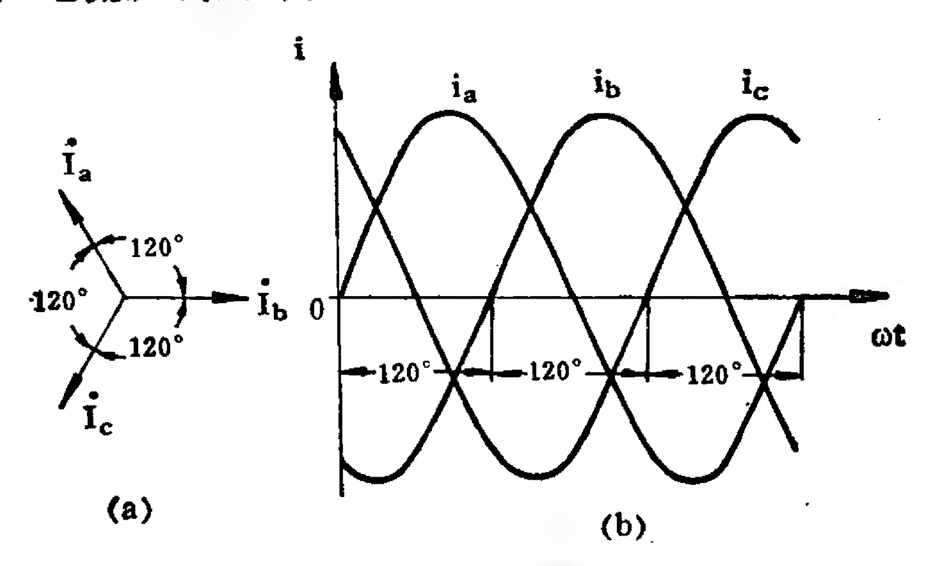
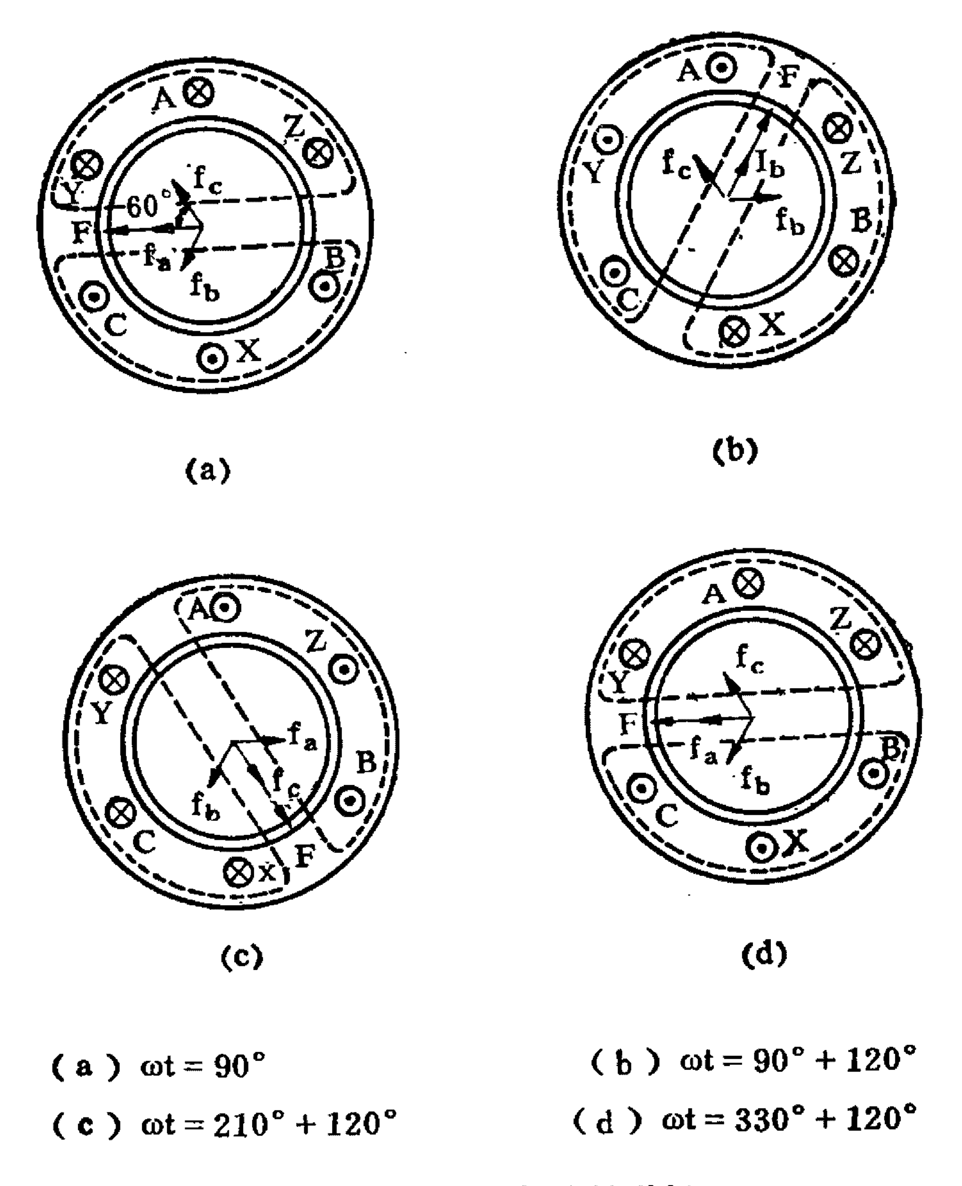


图1—2—5　三相电流向量和正弦曲线

用符号⊙表示。电流为负值时，则从线圈的尾端流入，首端流出。当$\omega t = 90°$时，$i_a = I_m$，$i_b = i_c = -I_m/2$，因而电流i_a从A流入，从X流出，电流i_b和i_c分别从Y、Z流入，从B、C流出。如图1—2—6（a）所示。根据右手螺旋定则，可确定每相绕



（a） $\omega t=90°$　　（b） $\omega t=90°+120°$

（c） $\omega t=210°+120°$　　（d） $\omega t=330°+120°$

图1—2—6　三相旋转磁场

组电流所产生的磁势f_a、f_b和f_c的方向。

由于每相绕组磁势的大小与电流成正比，所以$\omega t=90°$时，每相绕组磁势的大小分别为：

$$f_a=F_m \qquad f_b=f_c=-\frac{1}{2}F_m$$

那么，三相合成磁势可用平行四边形法则进行向量相加求得：

$$F=f_a+f_b+f_c$$

$$= F_m + \frac{1}{2}F_m\cos60° + \frac{1}{2}F_m\cos60° = \frac{3}{2}F_m$$

式中：F_m为每相绕组磁势的最大值。

当$\omega t = 210°$时，由图1—2—6(b)所示，$i_b = I_m$，$i_a = i_c = (1/2)I_m$，那么，该瞬间每相绕组电流所产生的磁势$F_b = F_m$，$fa = f_c = -\frac{1}{2}F_m$。其合成磁势为：

$$F = f_a + f_b + f_c$$

$$= \frac{1}{2}F_m\cos60° + F_m + \frac{1}{2}F_m\cos60° = \frac{3}{2}F_m$$

当$\omega t = 330°$时，$i_c = I_m$，$i_a = i_b = -\frac{1}{2}I_m$，此时，每相绕组电流所产生的磁势$f_c = F_m$，$f_a = f_b = -(1/2)F_m$。其合成磁势如图1—2—6(c)所示：

$$F = f_a + f_b + f_c$$

$$= \frac{1}{2}F_m\cos60° + \frac{1}{2}F_m\cos60° + F_m = \frac{3}{2}F_m$$

当$\omega t = 450°$时，$i_a = I_m$，$i_b = i_c = -(1/2)I_m$，其合成磁势的大小和方向与$\omega t = 90°$时相同，如图1—2—6(d)所示。

综上所述，三相交流电通入三相对称绕组时就会产生三相旋转磁场，这个旋转磁场有如下三个特点：

1.旋转磁场的合成磁势的幅值为$(3/2)F_m$，而且是恒定不变的。在旋转的过程中，合成磁势向量的端点的轨迹为一圆形，如图1—2—7所示。因此，这个磁场有圆形磁场之称。

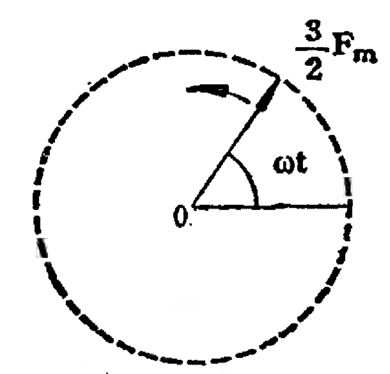


图1—2—7　圆形旋转磁场

2. AX绕组中的电流I_A先达到最大值，随后是BY绕组中的电流I_B达到最大值，最后是CZ绕组中的电流I_C达到最大值，即电流I_A超前于电流I_B，电流I_B超前于电流I_C。而旋转磁场的旋转方向则与电流的相序ABC是一致的。若电流的相序改变，则旋转磁场的旋转方向也随之改变。

3. 从图1—2—6中可见，当ωt变化90°电角度时，合成磁场也旋转90°电角度；当ωt变化120°电角度时，合成磁场也旋转120°电角度；当ωt变化360°电角度时，合成磁场也随之旋转一周。令交流电的频率为50赫芝，则旋转磁场的旋转速度为$n_1 = 60f$转/分。对两对磁极的异步电动机，其旋转磁场的旋转速度为$n_1 = \frac{60f}{2}$转/分，对三对磁极的异步电动机，其旋转磁场的旋转速度为$n_1 = \frac{60f}{3}$转/分。若以p表示电动机的磁机对数，则旋转磁场的转速公式为：

$$n_1 = \frac{60f}{p}\text{转/分} \qquad (1—2—10)$$

三、三相异步电动机的工作原理

从上面的分析可以看出，当电动机定子三相绕组通以三相对称电流时，便产生旋转磁场，它以同步转速n_1在空间按顺时针方向旋转，静止的转子导体便切割旋转磁场而产生感应电动势和电流。根据右手定则可以确定转子导体内感应电流的方向。转子导体中的感应电流与旋转磁场相互作用，便产生电磁力F，其方向可用左手定则确定。这个电磁力对转子轴形成电磁力矩，驱使转子沿着旋转磁场的转向旋转，如图1—2—8所示。

必须指出，使电动机转子旋转的主要作用是电磁力，而不是定子的旋转磁场吸引着转子旋转。那么转子的转速n_2必定要小于定子旋转磁场的同步转速n_1。如果$n_2 = n_1$，则二者之间没

有相对运动，转子导体便不可能切割定子旋转磁场，因而转子导体内便没有感应电流产生，电磁力矩便为零。在一定的阻力转矩作用下，转子的转速减慢，一旦转子的转速低于同步转速时，转子导体又开始切割定子磁场，转子重新受到电磁转矩的作用而旋转起来。因而转子的转速总是低于定子旋转磁场的同步转速的。换言之，转子不能与旋转磁场同步。所以，这种电动机称为异步电动机。旋转磁场转速n_1与转子转速n_2之差（n_1-n_2）称为转差，转差与旋转磁场同步转速n_1之比值，称为异步电动机的转差率：

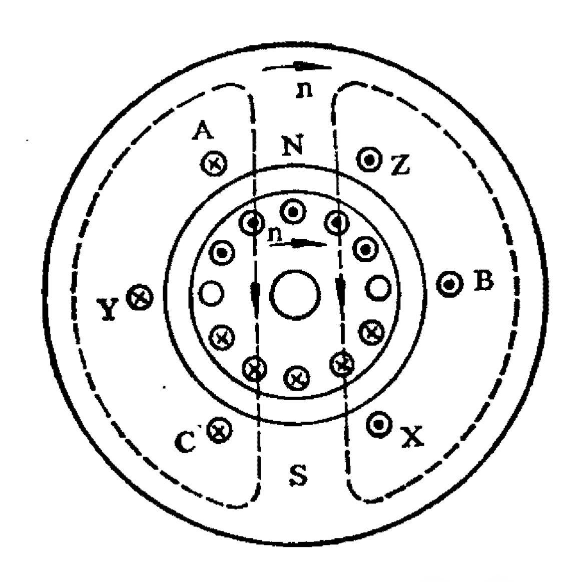


图1—2—8　三相异步电动机旋转原理图

$$S=\frac{n_1-n_2}{n_1}\times 100\% \qquad (1—2—11)$$

在这种电动机中，又因为转子电流是由电磁感应所产生，所以它又被称为感应电动机。

第三节　单相异步电动机的工作原理

单相异步电动机可以看成三相异步电动机在不平衡电压下运行的特殊例子。一台三相异步电动机在运行中，定子绕组A相突然断路，此时，B、C两相成为简单的串联回路，通过的电流相同，这就成为单相运行了。如图1—3—1所示。如果这时电动机所带负载很轻，则电动机仍能继续运转。

根据电流的不平衡状态，可以写出如下方程式：

$$\left.\begin{aligned} I_A &= 0 \\ I_B &= -I_C \end{aligned}\right\} \qquad (1—3—1)$$

分解为对称分量后，便得：

$$I_{AO} = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C)$$

$$= \frac{1}{3}\left[I_A + I_B + (-I_B)\right]$$

$$= 0$$

图1—3—1 三相电动机在单相电压下运行

$$I_{A+} = \frac{1}{3}\left[aI_B + a^2 I_C\right] \quad (1—3—2)$$

$$= -I_{A-}$$

正序电流系统相序为A、B、C，负序电流系统的相序为A、C、B。如图1—3—2所示。

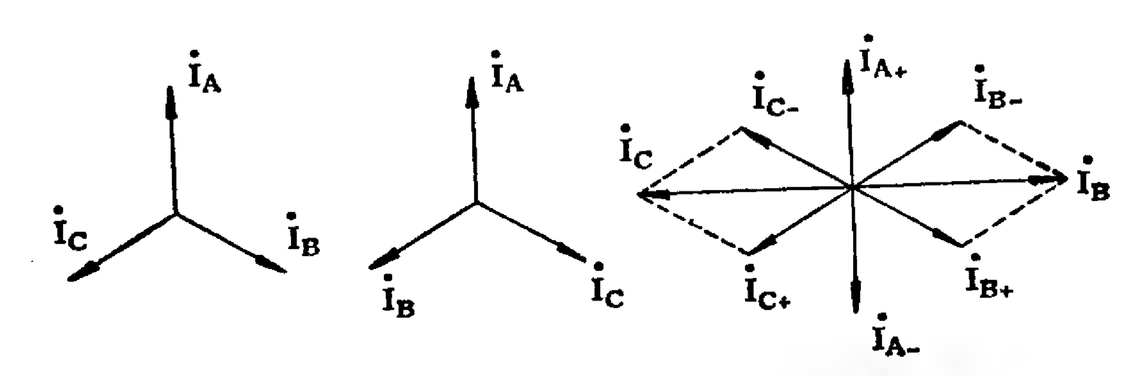


图1—3—2 单相异步电动机定子电流对称分量向量图

由图1—3—2可见：

$$I_B = I_{B+} + I_{B-} = I_{B+} - I_{C+} = I_{B-} - I_{G-} \qquad (1—3—3)$$

从电压关系可得：

$$U_{BC} = U_B - U_C = (U_{B+} + U_{B-}) - (U_{C+} + U_{C-})$$

$$= (I_{B+}Z_+ + I_{B-}Z_-) - (I_{C+}Z_+ + I_{C-}Z_-)$$

$$(I_{B+}-I_{C+})Z_{+}+(I_{B-}+I_{C-})Z_{-} \qquad (1—3—4)$$

将式(1—3—3) 代入式(1—3—4)：

$$U_{BC}=I_{B}(Z_{+}+Z_{-}) \qquad (1—3—5)$$

即：

$$I_{B}=\frac{U_{BC}}{Z_{+}+Z_{-}} \qquad (1—3—6)$$

式中：Z_+——异步电动机的正序阻抗；

Z_-——异步电动机的负序阻抗。

如果按照式(1—3—6) 作出单相异步电动机的等值电路图时，应将正序网络与负序网络串联，如图1—3—3 所示。图中

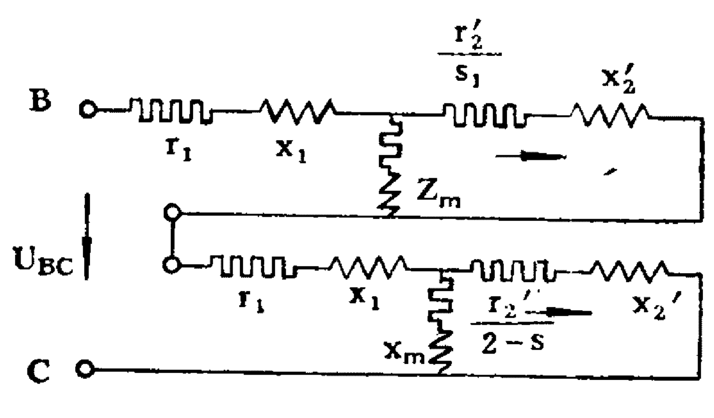


图1—3—3 单相异步电动机等值电路图

S_1为转子对于正序磁势的转差率，那么：

$$S_1=\frac{n_1-n_2}{n_1}=S$$

图中S_2为转子对于负序磁势的转差率，那么：

$$S_2=\frac{n_1+n_2}{n_1}=\frac{n_1-(-n_2)}{n_1}=\frac{2n_1-(n_1-n_2)}{n_1}$$

$$=2-\frac{n_1-n_2}{n_1}=2-S$$

当电动机起动时，转子处于静止状态，转差率$S=1$，则正序阻抗便与负序阻抗相等，这时，作用在正序网络上的电压与

作用在负序网络上的电压相等，且各为外施电压U_{CB}之半。那么，正序旋转磁场的振幅便与负序旋转磁场的振幅相等。电动机气隙中的合成磁场便为一脉动磁场。这个脉动磁场由式(1—2—5）用三角恒等式化为：

$$F_m \sin\omega t \sin x = \frac{1}{2}F_m \cos(\omega t - x) - \frac{1}{2}F_m \cos(\omega t + x)$$

$$= f_+ + f_- \qquad (1—3—7)$$

式(1—3—7）表明，一个脉动磁场 f 可以分解为两个转向相反、幅值相等的旋转磁场f_+和f_-，作用在电动机转子上的正向转矩与负向转矩抵消，所以，如不采取另外的措施，单相电动机便不能起动。

为加深理解，下面通过图1—3—4加以说明。

由图1—3—4(b)可见，在空间任意点 x 处，虽然正序旋转磁场f_+和负序旋转磁场f_-转到了各个不同位置，但合成磁势 f 始终在垂直位置脉动。当转子静止时，正序旋转磁场切割转子导体，在转子导体中产生感应电势和电流，从而产生正向转矩M_+，此时，负序旋转磁场也切割转子导体，在转子导体中产生感应电势和电流，从而产生负向转矩M_-。由于这两个磁场的大小相等，且相对于转子的转速又都为同步转速，所以正向转矩M_+与负向转矩M_-大小相等、转向相反，其合成转矩等于零，电动机便不能起动。这是单相异步电动机的一个特点，也是它的一个缺点。

但是，如果用某种方法使单相异步电动机朝某个方向转动一下，那么，电动机便会朝着这个方向继续运转，并逐渐加速直至稳定运行状态。这是单相异步电动机的一个显著特征。下面我们来分析这种现象。

由图1—3—3所示，单相异步电动机的等值电路可以认为是

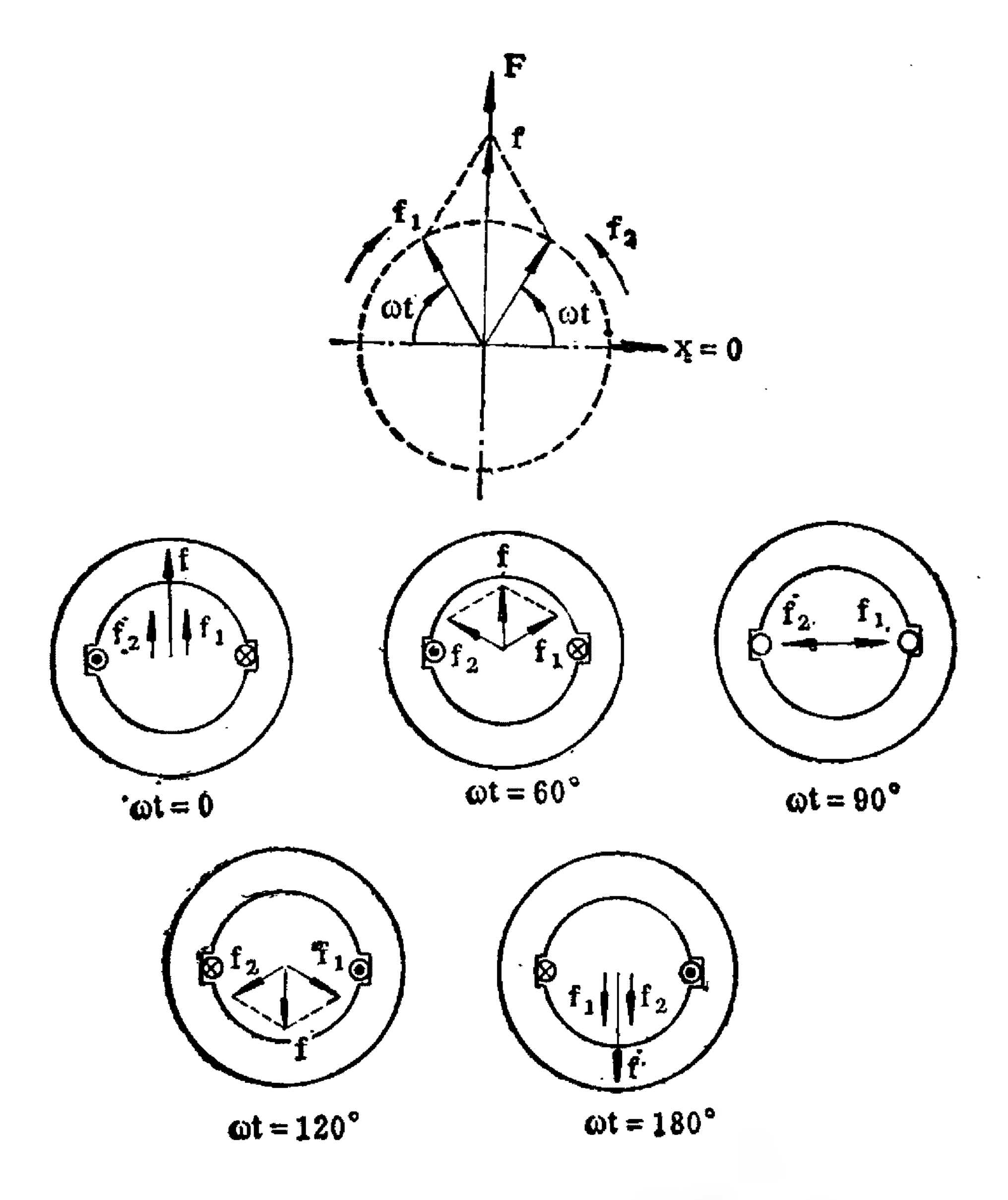


图1—3—4　脉动磁场的分解

一个正序网络和一个负序网络串联所组成，当通以交流电流时，则分别产生正序旋转磁场和负序旋转磁场。因此，可以将单相绕组画成图1—3—5那样的形式，即由两套匝数相等的三相定子绕组，通以三相电流后，上面的一套三相绕组产生正序旋转磁势，因而它与转子组成了一台正序三相异步电动机，产生正序转矩M_1。下面的一套三相绕组产生负序旋转磁势，它与转子组成一台负序三相异步电动机，产生负序转矩M_2。因此，正序

转矩 M_1 与转差率S的关系曲线与普通的三相异步电动机相似；负序转矩 M_2 与转差率的关系曲线则相当于将 $M_1=f(S)$ 曲线转动180°角度，如图1—3—6所示。图1—3—6中M为合成转矩曲线 $M=f(S)$。

当 S_1（即图中的S）在0至1的范围内时，M_1 为动力转矩，这时 S_2（即图中的2—S）便在2至1的范围内，M_2 为制动转矩。此时，单相异步电动机便朝正向旋转。若 S_2 在0至1的范围内，M_2 为动力转矩，这时 S_1 在2至1的范围内，M_1 为制动转矩，单相异步电动机便朝反方向旋转。

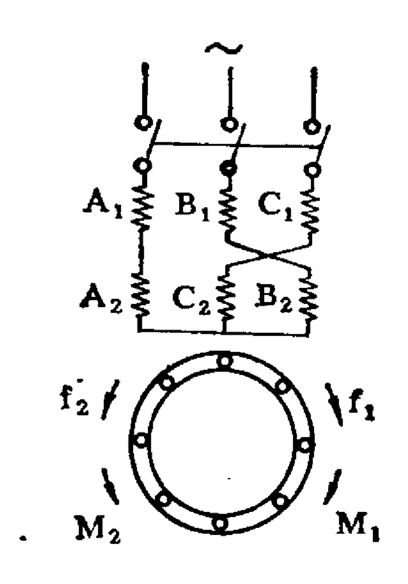


图1—3—5　从磁势观点看单相电动机绕组

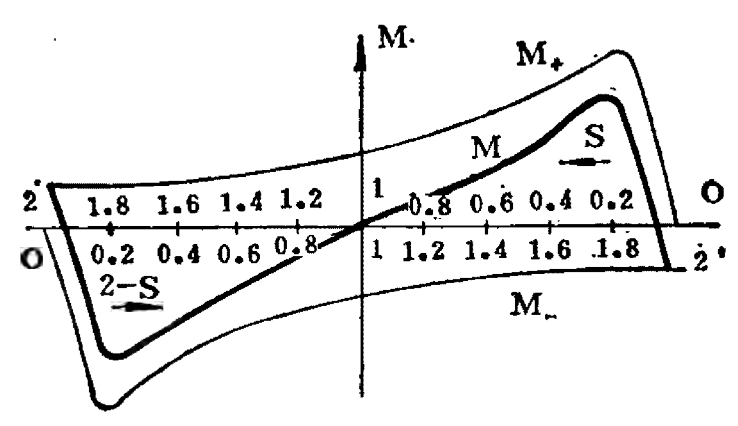


图1—3—6　单相异步电动机转矩-转差率曲线

由图1—3—6中所示的 $M=f(s)$ 曲线可以看出，在转差率 $S=1$ 点的两边，合成转矩 $M=f(s)$ 曲线是对称的。因此，单相异步电动机没有固定的旋转方向，它的旋转方向决定于外加力矩（用人力或其他起动措施产生）的方向。因此，只要起动后有一定的转速，即 $S\neq1$，那么，它自身就能产生一定的合成转矩，使电动机继续沿着起动时的方向旋转，直至进入稳定运行状态。

第四节　单相异步电动机的容量等级和结构

由于单相异步电动机与同容量的三相异步电动机比较，各项经济性能指标都较差，因而，它只做成小容量的。它们的容量等级如表1—4—1所示。表中BO系列为电阻分相式单相电动机的新系列(其旧系列为JZ)，CO系列为电容起动式单相异步电动机的新系列(其旧系列为JY)，DO系列为电容运转式单相异步电动机的系列(其旧系列为JX)。

表1—4—1　单相异步电动机（新系列）容量等级表

机座号	铁芯代号	BO 系列		CO 系列		DO 系列	
		2 极	4 极	2 极	4 极	2 极	4 极
		额定功率（瓦）		额定功率(瓦)		额定功率(瓦)	
45	1					15	8
	2					25	15
50	1					40	25
	2					60	40
56	1	60	40			90	60
	2	90	60			120	90
63	1	120	90			180	120
	2	180	120	180	120		180
	3	250	180	250	180		
71	1	370	250	370	250		
	2		370	550	370		
80	1			750	550		
	2				750		

上述新系列单相异步电动机的机座号是用中心高来表示的，如表1—4—1中，机座号为50，就表示电动机转轴中心到底脚平面的距离（即中心高）为50毫米，每一机座号有两种或三种不同长度的铁芯，用铁芯代号1、2或1、2、3表示。

尽管单相异步电动机与三相异步电动机的结构有所不同，但其主要的结构特征却是差不多的，它主要由定子、转子和起动装置三部分组成。

一、定子

单相异步电动机的定子结构有两种形式：

1.容量较大的单相异步电动机的定子采用和三相异步电动机相似的结构，定子铁芯也是硅钢片叠压而成的，铁芯槽内嵌置着两套绕组，两套绕组的中轴线应错开一定的电角度。

2.容量较小的单相异步电动机则制成凸极形状的铁芯（如凸极式罩极电动机），磁极的一部分被短路环罩住，凸极上绕有集中式绕组。

单相异步电动机的定子绕组与三相异步电动机比较，除了有单相和三相之别外，还有一个显著的特点，就是单相异步电动机的定子铁芯槽内嵌置运行绕组（又称工作绕组或主绕组）和起动绕组（又称辅助绕组或副绕组）。由于运行绕组是长时间地接在电源上工作，它的电流密度取得较低，约为5～8安/毫米^2；而起动绕组只在电动机起动过程中接入电源，它是短时工作的，因而电流密度取得较高。电容起动式单相异步电动机起动绕组的电流密度约为30～50安/毫米^2，电阻分相电动机起动绕组的电流密度为80～90安/毫米^2，最高可达105安/毫米^2。

二、转子

单相异步电动机的转子一般都是鼠笼式转子，它与三相异步电动机的鼠笼转子的结构相同。对称的鼠笼绕组即为一平衡

的多相绕组，它的每一根导条为单独的一相，因此，它的相数便等于转子鼠笼的导条数(当磁极对数p = 1时)。

由于鼠笼绕组的相数等于其导条数，即每相只有一根导条，也就是说鼠笼转子每相只有半匝。既然每相只有一根导条，也就不存在分布及短距的问题，因此，它的分布系数和短距系数均为1，所以鼠笼转子的绕组系数等于1。

转子鼠笼绕组的极对数和定子旋转磁场的极对数相等。

单相异步电动机的鼠笼转子大多采用斜槽，这是为了消除或削弱由齿谐波所产生的异步附加转矩，以及消除伴之而来的噪声。

转子导条的两端，一般斜过一个定子齿距 t，如图1—4—1所示。当转子导条切割定子的齿谐波磁场时，如果我们使得转子槽的斜度刚好等于一对齿谐波的极距时，则导条 abc 的一半ab段切割齿谐波磁场的S极，而导条abc的另一半bc段则切割齿谐波磁场的 N极，于是导条ab段中的感应电势与bc段中的感应电势大小相等、方向相反，从而使整个导条中的合成感应电势等于零，因而不会产生感应电流。因此，定子齿谐波磁场所引起的异步附加转矩便可以大为削弱或接近于零。

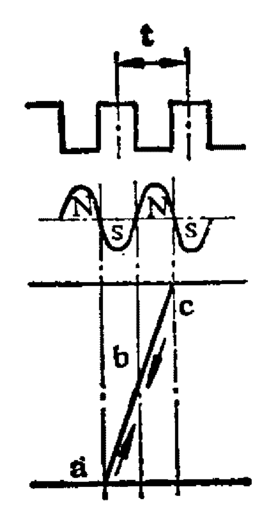


图1—4—1　转子斜槽消除齿谐波影响

当然，斜槽的采用也有其不利的一面，它使转子绕组的漏电抗增大，使电动机的最大转矩和功率因数稍有下降。虽然如此，但由于转子斜槽能使鼠笼式电动机的起动和运转较平稳，所以在单相异步电动机中，一般都采用斜槽式转子。

单相异步电动机定子与转子间的空气隙很小，根据目前的工艺水平，单相异步电动机的空气隙一般在0.2～0.3毫米，最小的为0.15毫米，容量大的电动机取上限值，容量小的电动机取下限值。罩极式电动机的空气隙较其他单相异步电动机为大，一般为0.3～0.4毫米。

空气隙增大，将使电动机的功率因数和效率降低，电动机的极数愈多，这种影响就愈显著。但是，随着极数的增多，定子和转子的齿磁通脉振将削弱，其表面损耗及磁噪声也随之减小。若是采用滑动轴承，考虑到可能产生的偏心，电动机的气隙值应增加10～20%。

和三相异步电动机一样，单相异步电动机定子与转子的槽数也有一定的配合关系，目前国内生产的单相异步电动机所采用的定子与转子槽数的配合情况如表1—4—2所示。

如果定子与转子的槽数配合不当，则将引起下列不良后果：

1.产生附加的同步或异步转矩，造成起动上的困难，甚至使电动机不能起动。

2.引起较大的磁噪声。

表1—4—2　单相异步电动机定子与转子槽数的配合

极　　数	2				4				
定子槽数	12	16	18	24	12	16	18	24	36
转子槽数	15	10	12	18	15	10	15	16	26
			15	20				18	34
				30				22	42
								30	

3.产生附加的损耗，从而使电动机的效率降低，温升增高。

三、起动装置

如前所述，单相异步电动机不能自行起动，需要采取另外的措施才能将它起动。因此，这就需要有相应的起动装置。起动装置一般串联在电动机起动绕组回路中，它的作用是在电动机起动完毕后，切断起动绕组的电流。

单相异步电动机的起动装置，以往比较普遍采用离心开关，现在大多采用各种类型的起动继电器。关于各种类型的起动装置将在本书的第二章详细讨论。

第五节　单相异步电动机与三相异步电动机的比较

三相异步电动机定子有三个对称绕组，通以三相对称电流后，便产生如图1—2—6所示的三相旋转磁场，它切割转子的鼠笼条，在转子绕组内感应出电势和电流，这个感应电流与旋转磁场相互作用，便产生电磁转矩，使电动机得以自行起动。而单相异步电动机由于定子绕组为一单相绕组，通以单相交流电流后，所产生的磁场为一单相脉动磁场，当转子静止时，这个脉动磁场没有旋转性质，因而单相异步电动机不能象三相异步电动机那样通以电流后便能自行起动。若要起动单相异步电动机，则必须施以外力或采取某种起动措施。这是单相异步电动机的一个特点，也是它的一个缺点。

在运行中，三相异步电动机通以三相平衡电流时，电动机气隙的旋转磁场为一圆形旋转磁场，如图1—2—7所示。而单相异步电动机在运行时，其气隙磁场为一椭圆形旋转磁场，如图1—5—1所示。

从图1—3—6所示的单相异步电动机的转矩-转差率曲线可以看出，单相异步电动机的正序转矩-转差率曲线$M_1 = f(s)$仍和三相异步电动机不同，因为三相异步电动机中，旋转磁场为一圆形磁场，旋转磁场的振幅是不变的。而在单相异步电动机中，正序旋转磁场的振幅随着转差率S的增加而减小，所以，在同一转差率时，单相异步电动机的正序转矩将比相应的三相异步电动机的转矩为小。当转差率S越大时，它们之间的差别也越大。由于负序转矩的制动作用，单相异步电动机的合成转矩也就更小了。

从电机学中，我们知道，三相异步电动机的最大转矩的数值与转子回路中的电阻大小无关，当转矩达到最大值时，电动机的转差率和转子回路的电阻大小成正比。换句话说，就是当转子回路的电阻值变化时，其出现最大转矩时的转差率不同，但其最大值的大小却是相同的。如图1—5—2所示。但是，单

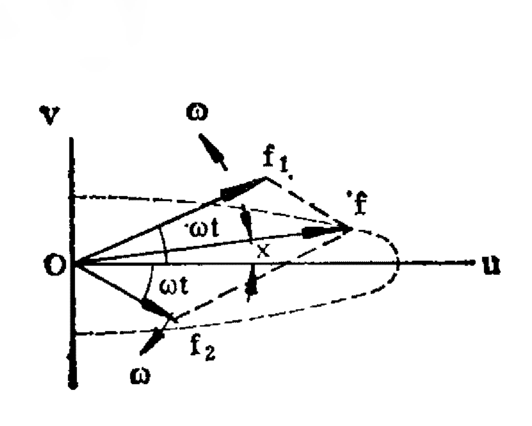


图1—5—1　单相电动机的椭圆形磁场

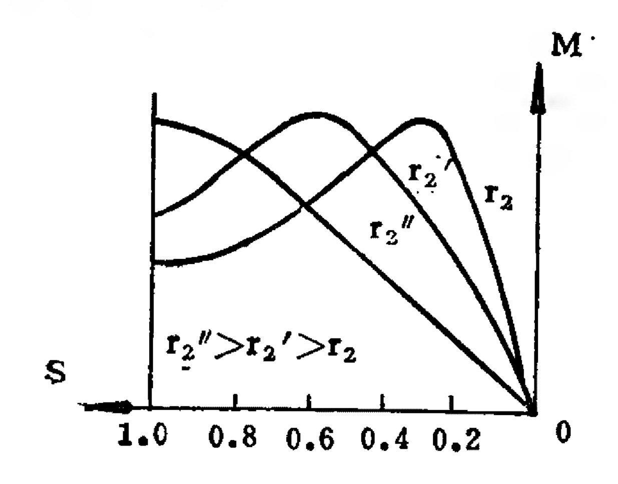


图1—5—2　转子电阻对转矩-转差率曲线的影响

相异步电动机中，其最大转矩数值与转子回路的电阻大小有关，当转子回路电阻增加时，出现最大转矩时的转差率将增加。但由于单相异步电动机气隙中还有一个负序旋转磁场存在，转差

率的增加，使得负序旋转磁场所产生的制动转矩也随之增加，因而使电动机的最大转矩降低了。所以，单相异步电动机的过载能力(即最大转矩与额定转矩之比)比三相异步电动机要小。

由于单相异步电动机中存在着正序旋转磁场和负序旋转磁场，因而其转子电流是由两个不同频率的电流叠加而成的。所以其转子的铜损较之三相异步电动机为大，因而电机的效率较低。又因为反向旋转磁场的存在，虽然这个反向旋转磁场随着转速的提高，在转子回路中所感应的电流的频率升高，使转子电抗增大，而使反向制动转矩逐渐减小，但是这个反向制动转矩总是存在的。因此，在转速和功率相同的前提下，单相异步电动机定子绕组的安匝数比三相异步电动机的安匝数要大，所以铜耗量增多，致使电动机的成本增加。

在运行性能上，当单相异步电动机的负载增加，引起转差率增大时，电动机除了要从电源吸取的功率增加和功率因数降低之外，还将引起反向制动转矩的增大，因此，单相异步电动机工作的稳定性较三相异步电动机差。

如图1—3—6所示，当转差率S＝0（即电动机以同步转速旋转）时，单相异步电动机的转矩有一微小的负值，因此，即使在理想的空载情况下运行，单相异步电动机的转速也不可能达到同步转速。这是它与三相异步电动机的又一区别。

在运行状态方面，由于单相异步电动机没有固定的转向，它可向两个方向同样地旋转。因此，它不可能象三相异步电动机那样能在制动状况下运行。因此，单相异步电动机的电流轨迹虽然是一个圆，但该圆缺少从S＝1至S＝∞的这一段圆弧，故为一个不完全的圆。

综上所述，与同容量、同转速的三相异步电动机相比，单相异步电动机的体积较大，成本较高，运行性能较差，所以，

一般仅在只具备单相电源的情况下，或所需容量较小时（如日常生活用电器、医疗器械、自动控制和工业设备上等）才采用单相异步电动机。

第二章　单相异步电动机的分类及其起动方法

从单相异步电动机的工作原理的分析中知道，单相异步电动机没有起动转矩，不能自行起动。欲使它起动，就必须采取某种措施，使电动机气隙中出现一个旋转磁场，从而产生一个起动转矩。因此，根据所采用的起动方法的不同和起动性能上的差别，单相异步电动机有各种不同的类型。下面介绍几种常用的单相异步电动机。

第一节　罩极电动机

一、罩极电动机的概况

用短路线圈或短路铜环将部分磁极罩起来，这种线圈或铜环就叫做罩极线圈。利用罩极线圈产生旋转磁场而实现自行起动的单相异步电动机，叫做罩极电动机。

罩极电动机是单相异步电动机中结构最简单的一种。虽然它的运行特性并不比其他型式的单相异步电动机为佳，但是它却具有构造简单、坚固可靠、成本低廉、运行时噪声微弱以及对于无线电没有干扰等优点，所以特别适用于电风扇、仪器仪表和录音机等。

罩极电动机的起动转矩很小，所以较适用于非满载起动的地方；它的效率也比较低，因而只制成小容量的，一般为1/100马力至1/200马力不等。它还适用于不需要考虑效率和运转费

用的场合。

二、罩极电动机的结构

罩极电动机主要由定子(或磁场框)、转子以及端盖三大部分组成。

罩极电动机的转子为鼠笼式转子。

罩极电动机的定子由硅钢片叠压而成。定子的型式有凸极式定子和齿槽式（即隐极式）定子两种。

1.凸极式定子

容量较小的罩极电动机大多做成凸极式定子，如图2—1—1所示。

这种电动机的每个凸出的磁极上绕有集中绕组（即主绕组),每个磁极的极掌的一端开有小槽一个，小槽中嵌入短路铜环，罩住磁极的1/2至1/3，这个短路铜环就叫做罩极圈，如图2—1—1所示。

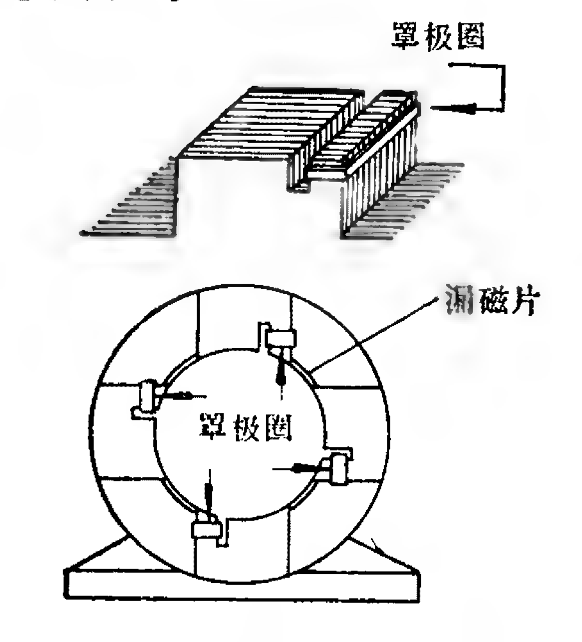


图2—1—1　凸极式罩极电动机结构示意图

在凸极式定子罩极电动机中，为了减少空气隙中合成椭圆形旋转磁场分布曲线的畸变，在极靴之间装有漏磁片（或称瓦形楔),漏磁片是用电工钢片叠成的细长的磁分路，其轴向厚度与定子铁芯的厚度相比较是极小的,如图2—1—1所示。漏磁片的装设虽然使磁极的漏磁有所增加，但在极间区域内合成磁通闭合回路的磁阻减小了，这就使得罩极电动机在一定程度上很象均匀气隙的异步电动机，从而起到了改善罩极电动机运行性能的作用。

2.齿槽式定子

功率较大的罩极电动机大多做成齿槽式定子。这种罩极电动机的定子铁芯和三相异步电动机一样，是用环形的硅钢片叠成的，上面有均匀分布的槽，槽内嵌有两套绕组，即主绕组和副绕组（起动绕组），两者都是分布绕组；然而，它的罩极绕组并不是铜圈，而是在部分线槽内同时嵌入几匝用粗铜线绕成的自成短路的罩极线圈。图2—1—2为四极 12 槽齿槽式定子罩极电动机线圈在槽中的分布示意图。图2—1—3为四极 12 槽齿槽式定子罩极电动机绕组布置情况的展开图。

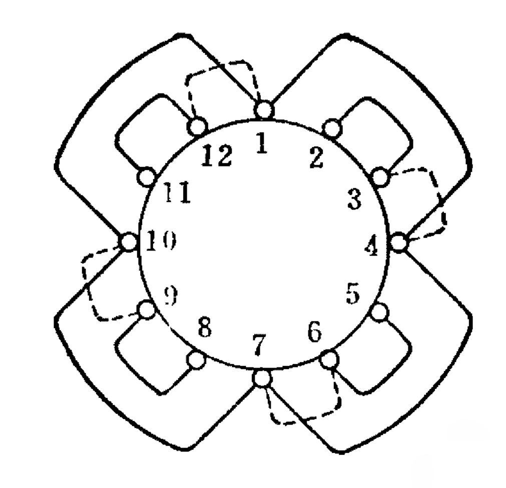


图2—1—2　分布式绕组在槽中布置示意图

……罩极绕组　　——主绕组

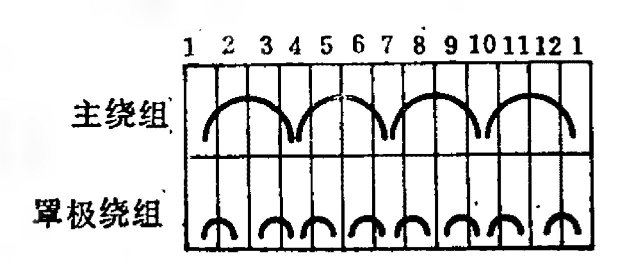


图2—1—3　绕组分布展开图

齿槽式定子罩极电动机的分布式主绕组匝数较多，它嵌放在定子槽的底层。罩极绕组的匝数较少（一般为 2 至 8 匝），而导线截面较粗(常用直径为1.5毫米左右的圆铜线)。它嵌放在定子槽的上层，并接成闭合回路，所以也称为短路绕组。

为了保证穿过罩极绕组的磁通在相位上落后于主绕组磁通一个角度(一般约为45°电角度)，以便在电动机的气隙中产生一个旋转磁场，使罩极电动机的转向从主绕组转向罩极绕组。因此，在下线时，必须注意这两个绕组的相对空间位置，图2—1—4为四极12槽齿槽式定子罩极电动机的接线示意图。

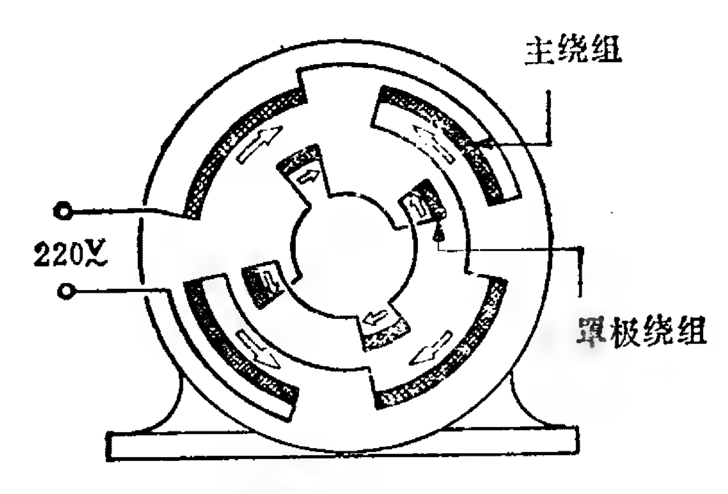


图2—1—4　四极12槽罩极电动机接线示意图

由图2—1—4可见，罩极绕组串联起来，自己成为一个闭合回路，每一部分罩极绕组的极性，与它左右相邻部分的极性是相反的。

齿槽式定子罩极电动机的定子绕组的连接方式除了一些吊风扇采用庶极连接法外，大多数是采用显极连接，如图2—1—4所示。

3.罩极电动机的其他型式

罩极电动机除了上述两种较常见的型式外，还有下列几种型式：

图2—1—5所示为一种框形定子式罩极电动机，这种框形定子是两极罩极电动机中较常用的一种，它的转子是鼠笼式转子，定子铁芯做成一个整块，定子上只有一个集中式绕组1，绕在一个模制的绝缘框子2上。定子铁芯叠片依次从绕组两端

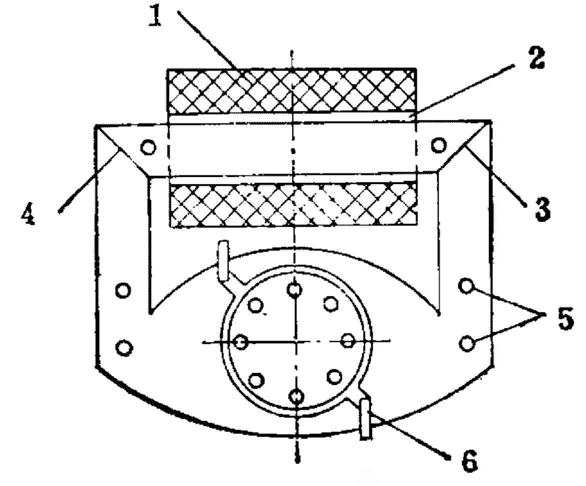


图2—1—5　框形定子式罩极电动机

插入，待装入一定片数后，就在 3 和 4 两处交替地嵌入定子铁芯中，最后在螺栓孔 5 中插入螺栓，把铁芯紧扎起来。图中罩极线圈 6 是用粗铜线制成的。这种罩极电动机常用于电唱机中。

还有一种圆盘型罩极电动机，其结构如图2—1—6所示。

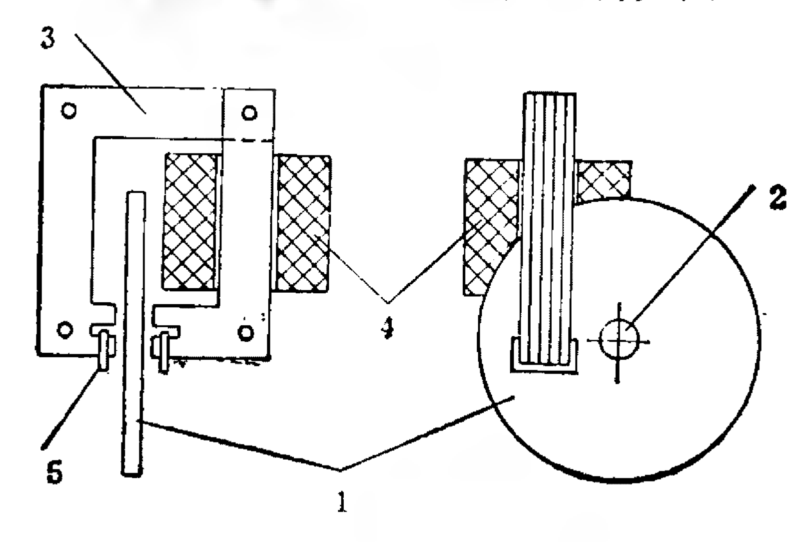


图2—1—6　圆盘型罩极电动机结构图

如图2—1—6所示的这种电动机有一只铜的或铝的圆盘1，装在转轴 2 上，并在电磁铁 3 的磁极间旋转，电磁铁由线圈 4 来激磁。磁极上也开有小槽，罩极铜圈 5 占居着每个磁极的一半。

这种罩极式电动机的气隙很大，而且转子中没有铁的部分，因此它的转矩很小。这种结构，我们在电度表中是常见的。

三、罩极电动机的工作原理

在罩极电动机的主绕组中通以单相正弦电流，就会产生主磁通Φ_1。其单相正弦电流的变化曲线如图2—1—7（a）所示，根据电磁感应定律可知，在罩极线圈中将产生感应电流，这个感应电流也在电机气隙中产生磁通Φ_2。磁通Φ_2总是企图阻止磁通Φ_1变化的。在电流变化曲线的起始阶段oa段，电流是随时间 t 的增加而增大的，即电流 i 对时间 t 的变化率$di/dt>0$，

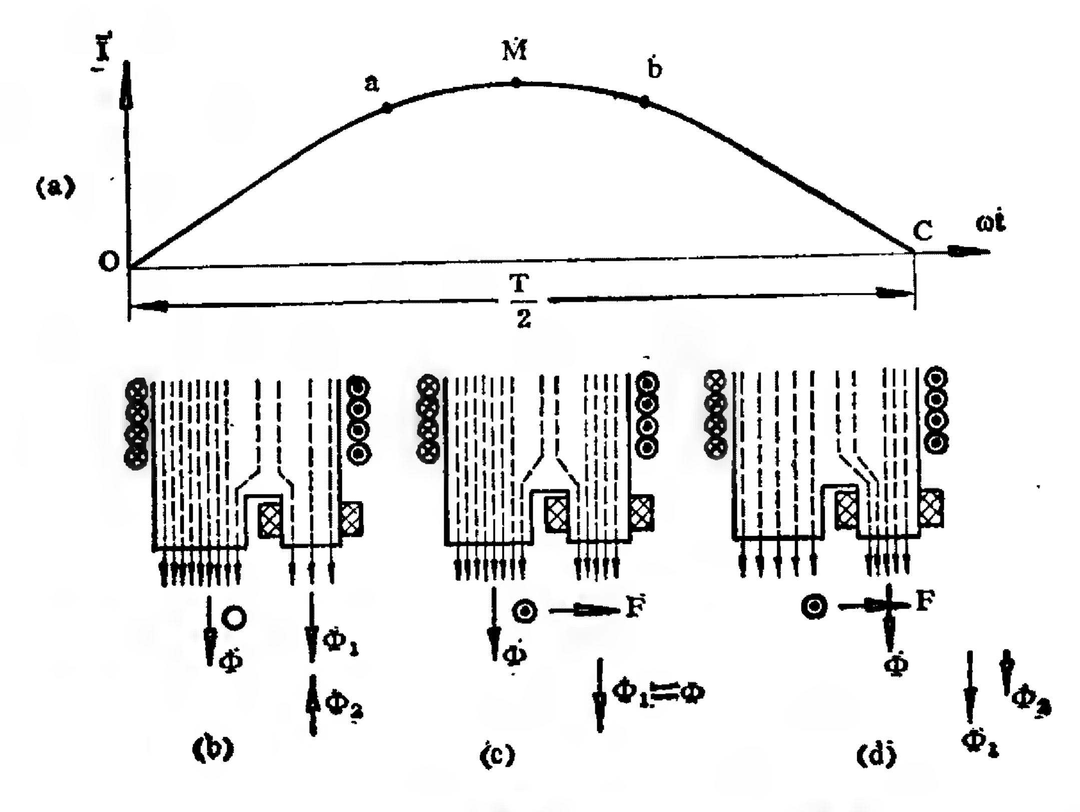


图2—1—7　罩极电动机工作原理图

而且电流 i 随时间 t 的增加而增大得很快，所以主磁通Φ_1也增长得很快，而此时，罩极线圈中感应电流所产生的磁通Φ_2是阻止Φ_1增加的，所以在罩极部分的极面下，磁通密度减小，大部分磁通通过未罩极部分的极面下，这就使得磁场的轴线接近于未罩部分的中心位置，如图2—1—7(b)所示。

当电流 i 继续变化到曲线的aM段时，电流的增长率比Oa段要小些，即$di_{aM}/dt<di_{oa}/dt$。则罩极线圈内的感应电流减小，它所产生的反抗主磁通变化的能力减弱。因此，磁极下的磁场轴线将朝罩极部分向右移一些。当电流变化到曲线的顶点M时，则电流对时间的变化率$di/dt=0$，根据电磁感应定律，罩极线圈内的感应电流便等于零，磁场线圈所产生的主磁通便均匀地分布在整个磁极下面，磁场轴线就移到了极面的中心，如图2—1—7(c)所示。当电流曲线变化到Mb段时，则电流 i 随时

间的增加而减小，即电流 i 对时间 t 的变化率$di/dt < 0$，由电磁感应定律可知，罩极线圈中的感应电流所产生的磁通Φ_2是阻止主磁通Φ_1减小的，因而Φ_2与Φ_1的方向相同，这样，就使得被罩部分维持较密的磁力线，磁场轴线便继续向右移动。

当电流 i 继续变化到bc段时，电流 i 随时间 t 的增加而下降得更快，罩极线圈中的感应电流增大，它所产生的磁通Φ_2也增强，由于磁通Φ_2与主磁通Φ_1的方向相同，所以被罩部分极面下的磁通更密了，从而使磁场轴线移到了被罩部分的极面下，如图2—1—7（d）所示。

当电流沿曲线继续变化到负半周期时（图中未画出），磁力线的方向反过来了（即自下向上），根据同样的分析可知，这个反方向磁场的轴线也是从未罩部分向被罩部分连续移动的。从而罩极电动机便获得了类似两相绕组所产生的旋转磁场，使转子导体切割旋转磁场而产生感应电势和电流，根据电动机左手定则可知，电动机的转子便在电磁力F的作用下，由未罩部分朝着被罩部分的方向自行起动直至正常运行。

从上述分析中可见，罩极电动机的起动、运行性能与被罩部分的大小有关，被罩部分的面积大时，则电动机的起动转矩就大，但是此时的损耗和噪声亦相应增加，因此，被罩部分一般占总个磁极面积的1/2至1/3为宜。

四、罩极电动机的特性

1.效率

由于大多数罩极电动机都是采用凸极形式，因而电动机空气隙中的磁通不是依正弦规律分布的，同时，起动线圈（即罩极线圈）在电动机运行时仍旧起作用，所以罩极电动机的效率和其他类型的单相异步电动机比较起来，要低得多，一般约低8%～15%。然而，由于罩极电动机的容量是很小的，它的运转费

用与使用价值比较起来，是很小的。因此，效率低的缺点并不显得突出。

一般说来，在用电量较小的场合中，罩极电动机的可靠性和制造成本比它的效率更为重要，因而罩极电动机的容量一般都小于1/20马力。当然，也有少数做成1/20马力的罩极电动机。

2．起动转矩

罩极电动机的起动转矩很小，通常只有满载时转矩的30～50%。因此，罩极电动机不适宜用于需要满载起动的地方，而一般应用于空载起动的场合，例如电唱机中的罩极电动机，带着唱片的转盘没有转到正常转速，唱针尚未搁到唱片上之前，电动机并非满载。又如台扇中利用罩极电动机非常普遍，在这里，起动时所需要的转矩，仅仅用来克服电动机轴承和传动齿轮间的摩擦力。在风扇叶片开始旋转之前，电动机并没有负载，只有待风扇叶片达到正常转速之后，电动机才是满载。

罩极式座扇常常出现不能自行起动，需要用手朝旋转方向拨拉一下才能起动的现象，这种故障就称为“堵转”，产生“堵转”的原因是由于罩极电动机的起动转矩，随转子与定子间的相对位置不同而有所不同，而电动机的最大负载转矩是使它能在转矩最小的位置时能自行起动，在某些位置上，电动机的转矩不足，因而不能起动。这主要是与罩极部分面积的大小有关系，通常罩极部分约占全部磁极表面的30%，如果需要特别好的起动特性，那么罩极部分的面积最好增加到全部磁极表面的50%以上。但是，这样一来，将使电动机的运行特性变坏。在起动转矩要求高的场合，有些罩极电动机甚至用两只或三只罩极线圈，每只罩极线圈所占磁极面积很大。此外，在设计中，将电动机转子线槽斜置，应用较大的气隙（约为0.35至0.5毫米）以及较低的磁通密度都可以减少发生“堵转”现象的几率。

如果把罩极线圈的线径加大，即减小罩极线圈的电阻也可以改进其起动性能，但难免要损坏电动机的运行特性，因此要通过试验来决定。

必须指出，对装有漏磁片的罩极电动机，在拆装时，必须注意漏磁片上槽子对罩极线圈的相对位置，要装得与原来一样，因为漏磁片的形状和厚度对电动机的性能也有较大的影响。

3．罩极电动机的运行特性

罩极电动机虽然结构简单，但制造工艺对其性能有较大影响，例如尺寸大小、转轴与轴承的配合、润滑油片的压力、机件的装配、转子导体的焊接以及罩极线圈的配置等，在制造中若与标准有所出入，就会较明显地影响电动机的性能。

(1)转速　罩极电动机的转速几乎是恒定的，直到满载以后才迅速下降。需要指出，罩极电动机的转差率比其它类型的单相异步电动机的转差率为大。罩极电动机的最高转速，可以做成两极电动机，转速约为2700转/分。也有的罩极电动机转速设计得很低，约每分钟几十转，这种低转速的罩极电动机一般都用在电风扇和电唱机上。

(2)效率　由于罩极电动机的容量很小，因而它在电气方面（如空载损耗）和机械方面的损耗对其输入功率而言，比率相当大，所以罩极电动机的效率很低。同时，这种电动机在其停转点附近运转时，它的效率最高，输出功率也最大，这是因为罩极电动机的设计是使它在停转点附近作满载运转而进行的。

(3)功率因数　罩极电动机的效率很低，因而它的功率因数较高。然而，因为其本身容量很小，因此其功率因数虽高，但其价值不大。

(4)噪声　罩极电动机运行时，一般噪声很小，因此，它很适用于家庭用电器。这是因为它没有易于产生机械噪声的摩擦

触点和电刷等部件。如果电动机制造工艺高，转子的平衡又很好，当定子磁通不太大时，则可以消除由于磁通脉动而产生的振动，这就适合于无声运行的要求。

有趣的是，罩极电动机在空载、满载和堵转时，电流的变化甚小，因此，罩极电动机大都可以用机械方法使其减低转速，或者干脆将它的转子堵转，也不会使电动机烧毁。正是由于这一有趣的优点，因此它可以用于阀门等机构中，当阀门关住时，电动机的电源不切除，也不会引起电动机过热而烧毁。

第二节　分相电动机

一、分相电动机的工作原理

图2-2-1所示为分相电动机的原理接线图。它的定子中嵌有两个并联的绕组：一个绕组称为运行绕组(即主绕组)，它采用较粗的导线绕制成，且匝数较多；另一个绕组称为起动绕组(即副绕组)，它采用较细的导线绕制，且匝数较少。二者比较起来，运行绕组的电抗较大而电阻较小；起动绕组则电抗较小而电阻较大。当它们在如图 2-2-1 所示的接线图中接入单相交

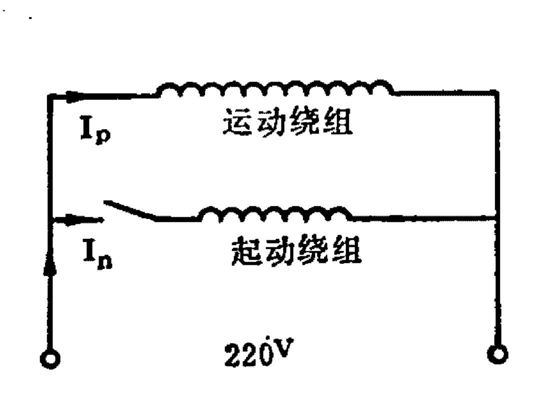


图2-2-1　分相电动机原理接线图

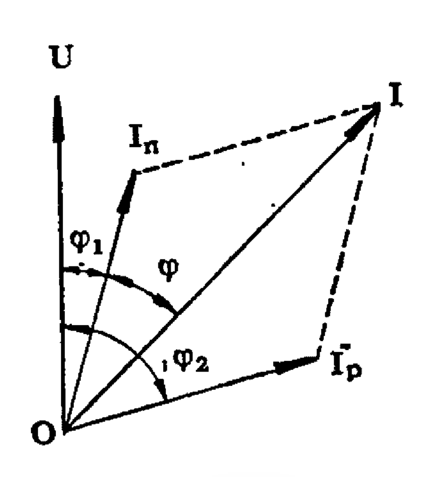


图2-2-2　分相电动机电流向量图

流电源之后，由于这两个绕组中的电抗和电阻分量不同，电阻大电抗小的起动绕组中的电流I_n比电抗大电阻小的运行绕组中的电流I_p先期达到最大值，即电流I_p滞后于电流I_n，令电流Ip滞后于电流In的相位为φ角，又令电流I_n滞后于电源电压U某一角度φ_1，I_p滞后于电源电压U的角度为φ_2，则$\varphi_2-\varphi_1=\varphi$，电源电压U、电流$I_n$和$I_p$之间的相位关系如图2-2-2所示。

由图2-2-2可见，利用两个绕组的电抗和电阻大小的不同，将单相电流I分解为具有相位差φ的两个电流In和Ip，这两个电流的相位差φ虽然不能达到90°，但是，当其相位差φ足够大时，就能产生和两相电流性质相类似的旋转磁场，这个旋转磁场便切割电动机转子的鼠笼条，使转子鼠笼内产生感应电流，这一感应电流与定子旋转磁场相互作用，从而使转子沿着旋转磁场的旋转方向旋转。当转速达到额定值的70%～80%时，起动完成了供给旋转磁场的起动任务，则自动开关断开，将起动绕组从电源中切除，电动机便继续运转直至额定状态。

为了使分相电动机的起动绕组得到较大的电阻，起动绕组可采用较细的铜线，或采用电阻率较高的铝线。在某些特殊情况下，也有用将起动绕组部分线圈反绕的方法来增大电阻的。

二、分相电动机的结构

分相电动机的转子为鼠笼式结构，定子采用齿槽式，定子槽内嵌置着两套绕组：运行绕组和起动绕组，起动绕组与运行绕组相隔45°的位置，如图2-2-3所示。

图2-2-3中，起动绕组嵌置在定子槽的上部，这是因为：

1．起动绕组嵌置在定子槽的上部，可以减少起动绕组的漏电抗，使得起动绕组电流In与运行绕组电流Ip之间的相位角增大（参见图2-2-2），从而起到减小分相电动机的起动电流并提高其起动转矩的作用；

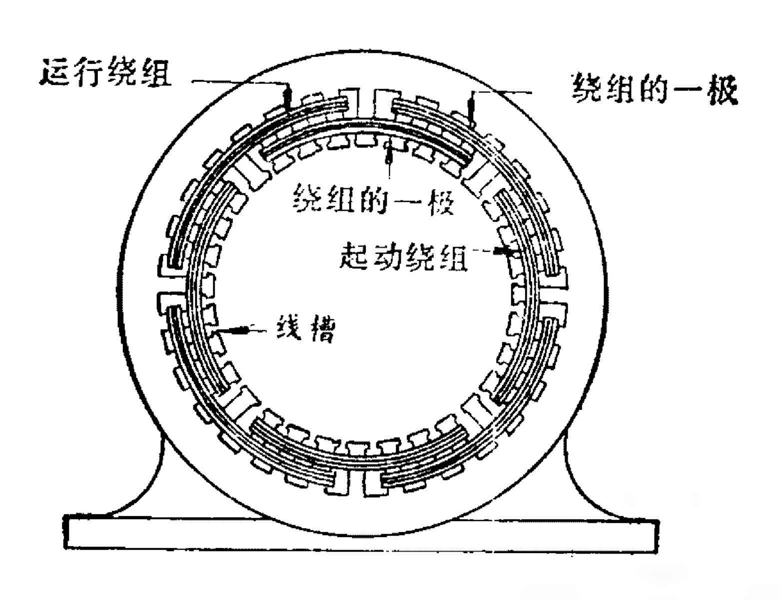


图2-2-3　起动绕组与运行绕组的布置

2. 实践表明，由于起动装置的故障以及起动绕组电流密度很高，起动绕组比较容易损坏，因此，将起动绕组置于定子槽的上部给修理带来了方便。

分相电动机的起动绕组只允许在电动机起动过程中接入电路(一般不超过一分钟)，因为起动绕组是根据短暂工作来设计的。所以，当电动机达到额定转速的70%～80%后，其起动绕组便自动从电路中断开，这个任务是由自动开关来完成的。这种开关通常做成离心式开关，图2-2-4所示为常用离心式开关的一种型式。

这种离心式开关包括静止的和旋转的两个部分，其静止部分是由两个半圆形铜环组成，这两个半圆形铜环中间用绝缘材料隔开，它装在电动机的前端盖内，其结构如图2-2-4（b）所示。起动绕组的一端焊在一半圆铜环上，电源的一端则焊在另一半圆铜环上。旋转部分装在电动机的转轴上，它包括三个指形铜触片，铜触片受弹簧的拉力而紧压在半铜环上，如图2-2-4(a)所示。

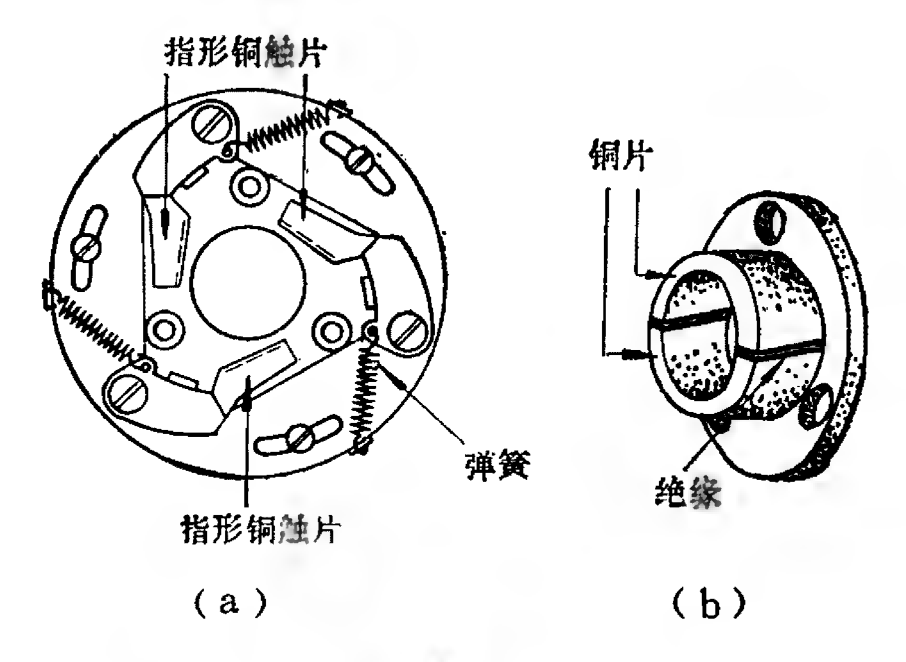


图2-2-4　离心开关结构图

当电动机静止时，不论旋转部分在什么位置，总有一个铜触片使静止部分的两个半圆铜环接通，使起动绕组接入电动机电路。电动机起动后，当转速达到额定值的70%～80%时，离心力大于弹簧拉力，便将三个指形铜触片从静止部分抬起，与两个半圆铜环脱开，于是便切断了起动绕组与电源的连接，从而使起动绕组退出工作。离心开关的作用程序如图2-2-5所示。

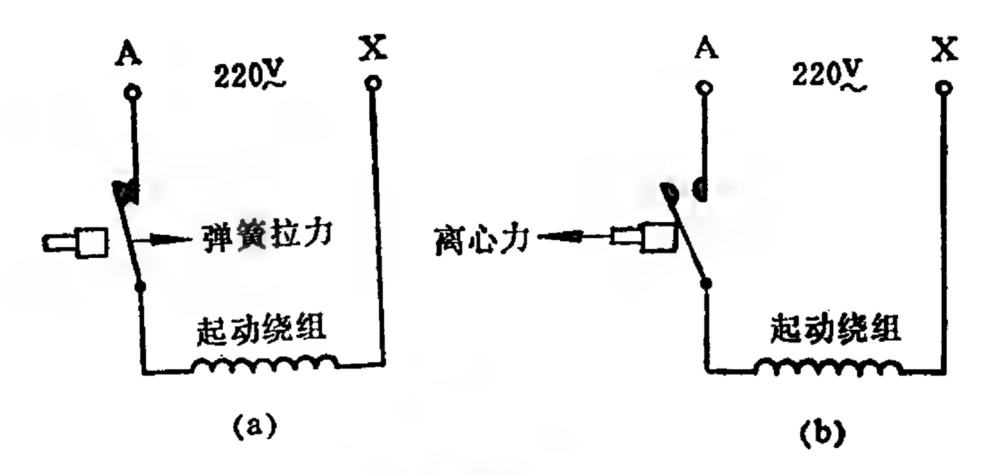


图2-2-5　离心开关动作程序图

(a)转子静止、转速低时触头是闭合的　(b)转子转速达额定值的70—80%时，开关断开

通过上面的分析可见，离心式开关的结构比较复杂，而且它安装在电动机的端盖内，不便于检查维护。当离心式开关发生故障，或电动机由于严重过载而引起转速低于额定值的70%时，离心开关将长期处于闭合状态，若起动绕组接入电路超过一定的时间，将使起动绕组过热而烧毁。又由于离心开关安装在电动机的端盖内，那么，势必使电动机的轴向长度增大。由于上述三个方面的缺点，因此目前除老式分相电动机外，离心式开关已不再生产，而代之以起动继电器。起动继电器一般装在电动机机壳外面，通常采用的起动继电器有如下三种类型：

(1)电压型起动继电器　采用电压型起动继电器的原理接线图如图2-2-6所示。触头 3 串联在起动绕组的电路中，它是一个常闭接点。当无其他外力作用时，触头 3 在弹簧 2 的作用下处于闭合状态，继电器电压线圈 1 与起动绕组并联跨接在电源电压上。当外施单相交流电源时，运行绕组 4 和起动绕组 5 中都有电流流过，电动机便开始起动。因为此时电压线圈 1 的阻抗远比起动绕组 5 的阻抗大，所以电动机在低转速时，电压线圈 1 中的电流很小。当电动机的转速逐渐升高时，起动绕组 5 中的反电势也随之逐渐增高，使电压线圈 1 中的电流也逐渐增

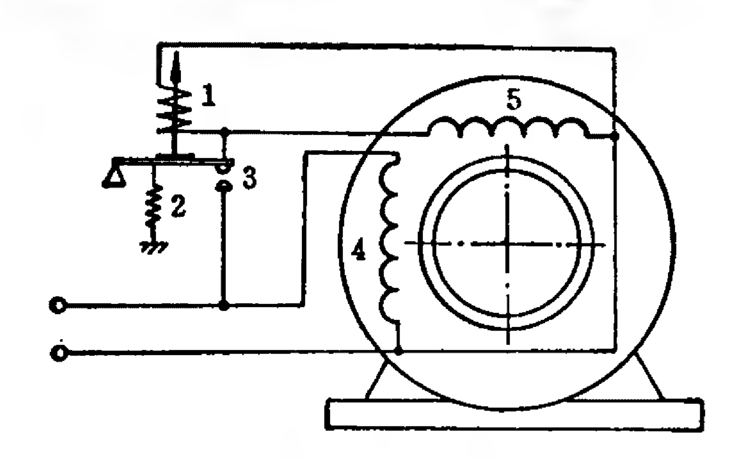


图2-2-6　电压型起动继电器原理接线图

1—电压线圈　2—弹簧　3—常闭触头　4—工作绕组　5—起动绕组

大，当这个电流达到一定的数值时（相当于电动机转速达到额定转速的70%～80%），其电磁作用力克服弹簧2的拉力使触头3断开，从而将起动绕组5从电源回路中切除。由于电压线圈1与起动绕组5构成闭合回路，起动绕组5的感应电动势在电压线圈1中产生感应电流，以维持触头3在断开状态，保证起动绕组5在电动机正常运行时不接入电源回路。

(2)电流型起动继电器　采用电流型起动继电器的原理接线图如图2-2-7所示，触头3串联在电动机的起动绕组5的电路中，它是一个常开触头，在无其他外力作用时，它在弹簧2的作用下为断开状态，继电器的电流线圈1与工作绕组4串联。当电动机起动时，因为起动电流通常为额定电流的好几倍，电流线圈1通过大电流而使继电器的铁芯产生足够大的电磁力，克服弹簧2的拉力，使触头3闭合，于是电动机的起动绕组5被接入电路，使电动机产生转矩，开始转动。转速上升后，起动电流下降，当转速达到额定转速的70%～80%时，通过继电器电流线圈1的电流便减小，当这个电流减小到一定数值时，电流线圈1所产生的电磁力便不足以维持触头3的闭合状态，因而触头3断开，将起动绕组从电路中切除。

(3)差动型起动继电器　上述电压型起动继电器和电流型

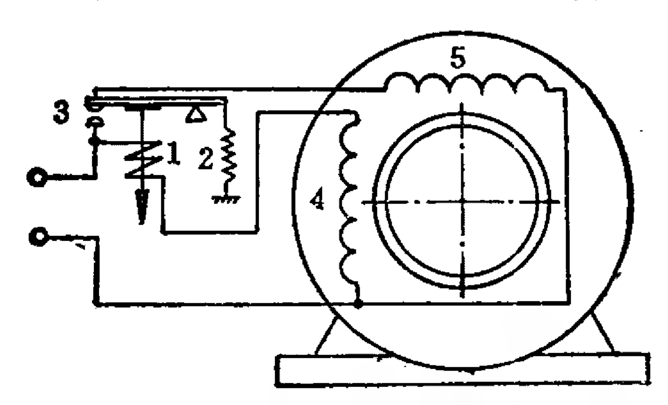


图2—2—7　电流型起动继电器原理接线图

1—电流线圈　2—弹簧　3—常开触头　4—工作绕组　5—起动绕组

起动继电器虽然在结构上比较简单，但是实践表明，采用这两种起动继电器起动分相电动机时，有时会发生误动作的现象，因此，有必要采用比较完善的差动型起动继电器来完成分相电动机的起动任务。

图2-2-8是采用差动型继电器起动分相电动机的原理接线图。图中继电器中的电压线圈 1 跨接在电源的两端。触头 3 串联在电动机的起动绕组 6 的电路中，由于弹簧 4 的作用力，使触头 3 处于闭合状态，将起动绕组接入电路中。当外施单相交流电源时，电动机便开始起动，此时流过电流线圈 2 中的电流很大，这个起动电流便产生足够大的电磁力，以维持触头 3 的可靠闭合。当分相电动机的转速达到额定转速的70～80%时，起动电流便减小了，电流线圈 2 中的电流减小使电磁力削弱，不足以维持触头 3 的闭合状态，于是，在电压线圈 1 的作用下，将触头 3 断开，从而将起动绕组 6 从电路中切除。

图2-2-9所示为这种差动型起动继电器的结构图。

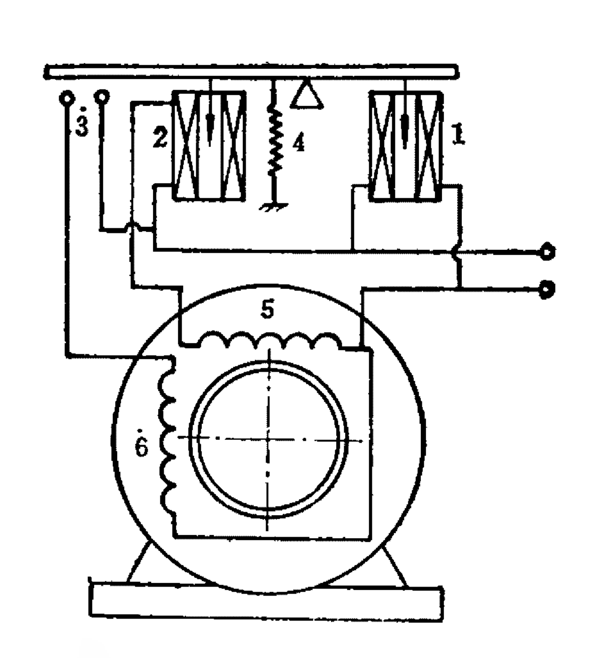


图2-2-8　差动型起动继电器原理接线图

1—电压线圈　2—电流线圈　3—触头　4—弹簧　5—工作绕组　6—起动绕组

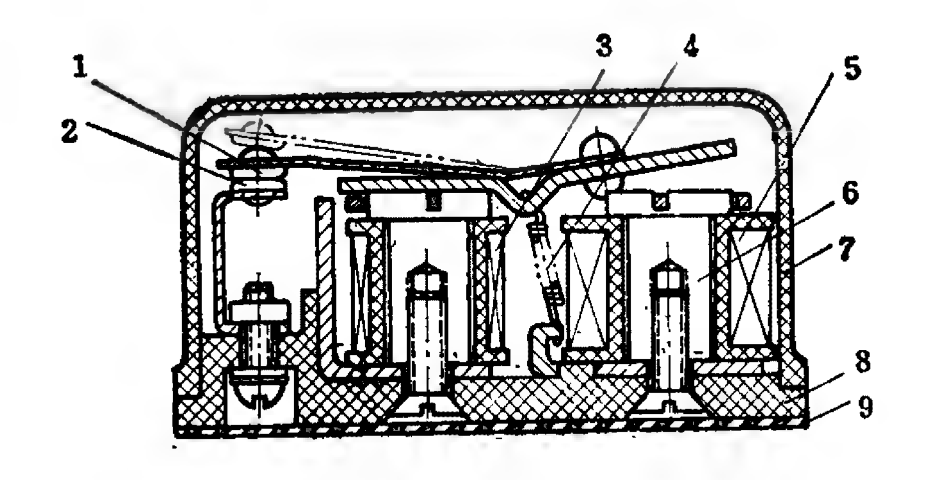


图2-2-9　差动型起动继电器结构图

1—动触头　2—静触头　3-电流线圈　4-弹簧　5—电压线圈　6—铁芯
7—外壳　8—底座　9—绝缘垫板

三、分相电动机的特性

1. 效率

分相电动机的效率根据其设计的不同而不同，并且还因电动机容量的大小和转速的快慢而异，它一般约为50%至60%，与同样容量的三相电动机比较起来，它的效率略低一些。为提高分相电动机的效率，应尽可能地减小定子与转子间的空气隙宽度。分相电动机的气隙宽度一般取0.25毫米。

图2-2-10为一台分相电动机的效率与转矩的关系曲线。这台分相电动机的额定容量为0.25马力，额定电压为220伏，两对磁极，其满载转矩为0.13公斤·米。

2. 起动转矩

分相电动机的起动转矩比罩极电动机的起动转矩为大，一般约为满载起动转矩的 1.2～2 倍。由图2-2-2可以看出，起动绕组电流$\dot{I}_n$与运行绕组电流$\dot{I}_p$之间的相位角（$\varphi_2-\varphi_1$）总是小于90°的。由于起动绕组和运行绕组的阻抗值不相等，因此电流$\dot{I}_n$与$\dot{I}_p$的幅值也不相等，尽管我们可以采用调整匝数的方

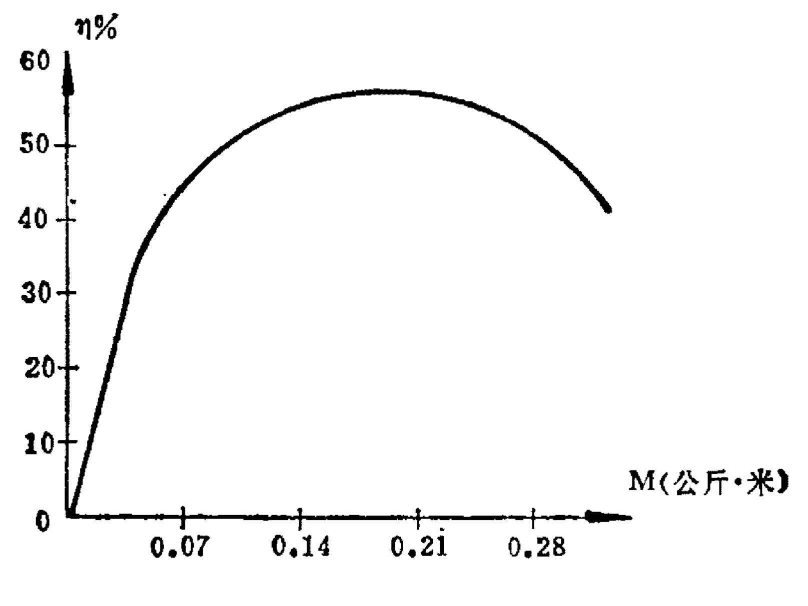


图2-2-10 分相电动机的效率曲线

法使这两套绕组的磁势相等，但仍然不能使这两套绕组的磁势在时间上的相位差为90°，因而此时电动机内部所产生的磁场不是圆形，而是椭圆形。由于因此而引起的反向旋转磁场的制动作用，便使得分相电动机的起动转矩比电容起动式电动机为小。

图2-2-11所示为分相电动机从静止到满载时的转矩曲线。图中所示曲线的D处是一凹坑，在此处，分相电动机的转矩反而下降。

需要指出，一般单相异步电动机都有这种转矩下降的现象。如果电动机在实际起动时的转矩为满载时转矩的2倍，但随着电动机转速的上升，将下降为满载转矩的1.5倍。那么，要用它来起动需要2倍满载转矩的负载是不可能的。否则将使电动机转速下降，假如转速降低到额定转速的75%以下，则起动开关将长期处于闭合状态，或起动继电器不能正确动作，从而造成电动机起动绕组过热而烧毁。

3．起动电流

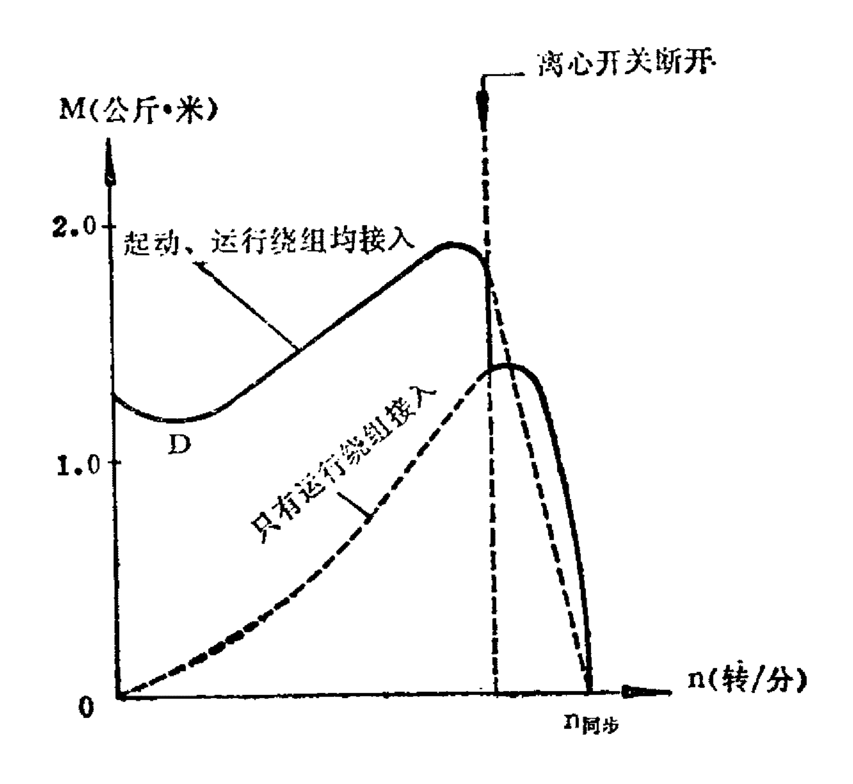


图2-2-11　分相电动机转矩与转速的关系曲线

由于分相电动机起动时，其起动绕组与运行绕组电流间的相位角小于90°电角度，因此，它的起动电流很大，一般约为额定电流的 6 ～ 7 倍，比其他类型的单相异步电动机和同样容量的三相异步电动机要大，这是分相电动机的一个缺点。（参见图2-3-2）尽管这么大的起动电流对于分相电动机本身尚不足以引起故障，但它的频繁起动对于接在同一电路中的电灯，将引起不舒适的闪烁。如果在同一条电路中接有多台分相电动机，并且频繁地起动与停止，则对于分相电动机本身的特性也将产生影响。一台0.25马力、 4 极分相电动机，其满载转矩为0.13公斤·米，它的起动电流与转矩的关系曲线如图2-2-12所示。

4．功率因数

分相电动机的功率因数也随着电动机的设计性能、容量大小和磁极多少而不同。其大小和罩极电动机差不多，一般为

0.45～0.75。图2-2-13所示为分相电动机的功率因数与转矩的关系曲线。

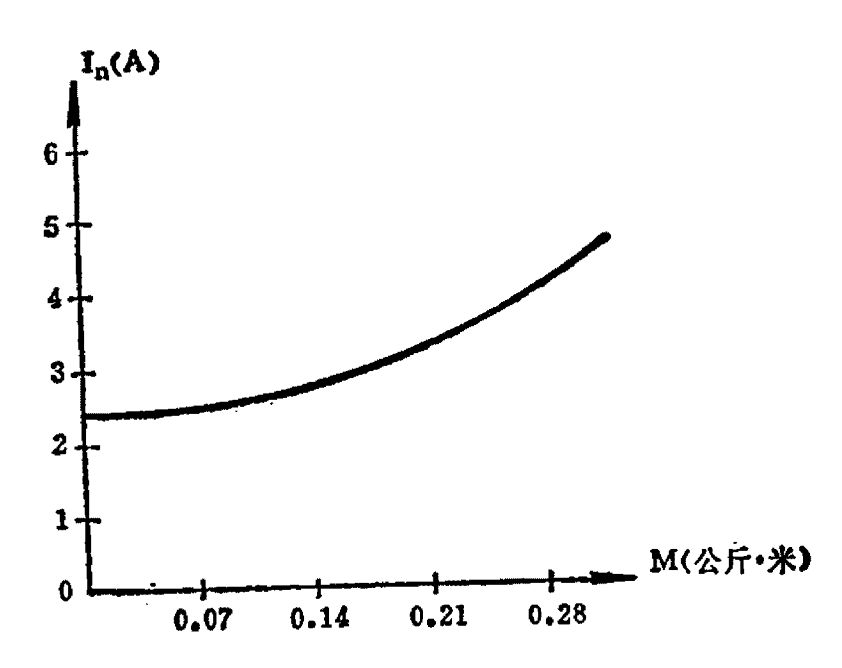


图2-2-12　分相电动机起动电流与转矩的关系曲线

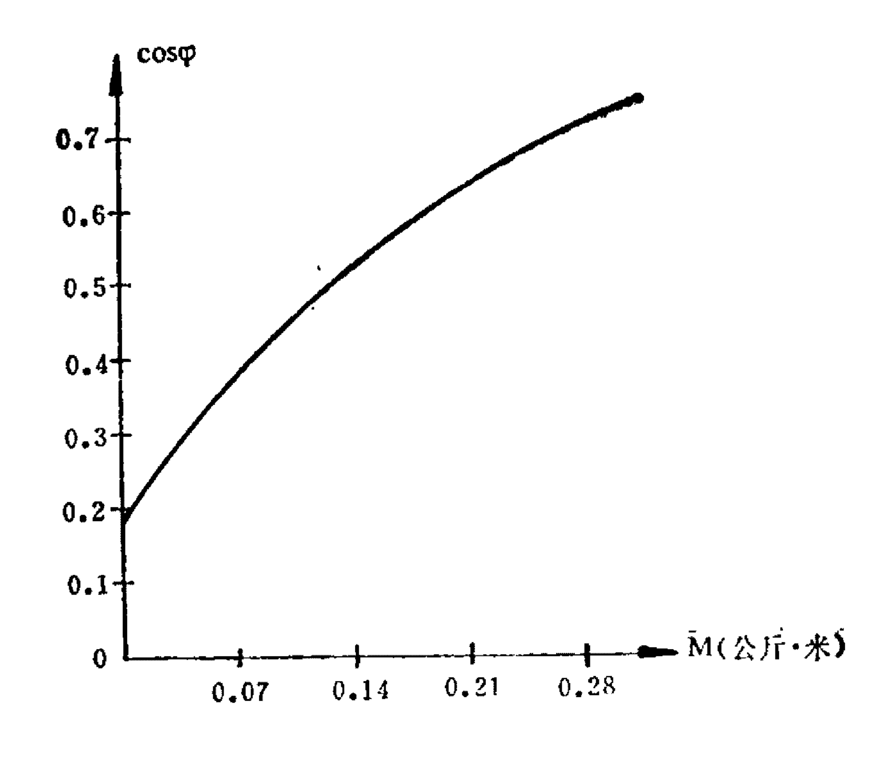


图2-2-13　分相电动机功率因数与转矩的关系曲线

5. 过载能力

分相电动机的停转转矩与设计有关，一般其过载能力为 2 至2.5。过载时温升较高。因此，分相电动机在过载25%时，一般不要超过 5 分钟，否则将引起电动机的过热甚至烧毁。

6. 噪声

单相异步电动机在运行中，由于脉动磁场的存在，如不采取某种措施，大都有一定程度的振动和噪声。而且当电动机极数愈少、转速愈高时，其振动与噪声也愈大。分相电动机当然也不例外，虽然它在运行中尚较稳静，但是它与其他类型的单相异步电动机比较起来，其噪声还是较大的。

7. 制造成本

分相电动机的构造较简单，在容量略大的单相异步电动机中，除了前一节所讲的罩极电动机之外（因为罩极电动机只制成很小容量的），分相电动机的结构要算最简单的，而且成本最低廉，因而应用也最普遍。

需要指出，分相电动机的上述特性，是指普通分相电动机的一般特性而言，它的尺寸大小、重量、成本、起动转矩、过载能力、效率、温升、功率因数和噪声与设计有密切关系。如果有特殊需要，更改设计则可以使这些特性中的一项或者两项特性比较突出。然而，这样做必然会使其他特性作出一些牺牲。例如容量一定的分相电动机，它的出力可以增加，但温升却也会增高。又如牺牲功率因数、效率和噪声，便可提高起动转矩和过载能力。反过来，降低了起动转矩和过载能力，那么运行时的噪声便可以降低。对于用户来说，要作这些更改，可以也只能适当更改电动机绕组的匝数，以增加或减少定子中的磁通。当将绕组匝数增多，使铁芯中磁通减少到设计值以下时，电动机的效率和功率因数将提高，温升和噪声将减小。但电动机的

过载能力和起动转矩却降低了。若减少绕组匝数，使铁芯中的磁通增加到设计值以上时，则电动机的温升将迅速上升，噪声增高，效率和功率因数下降，而电动机的过载能为和起动转矩却可以提高。

第三节　电容式电动机

一、电容式电动机的工作原理

电容式电动机的结构和工作原理与分相电动机相似，只不过是在起动绕组的回路中串入一个电容器罢了。电容式电动机的原理接线图和向量图如图2-3-1所示。

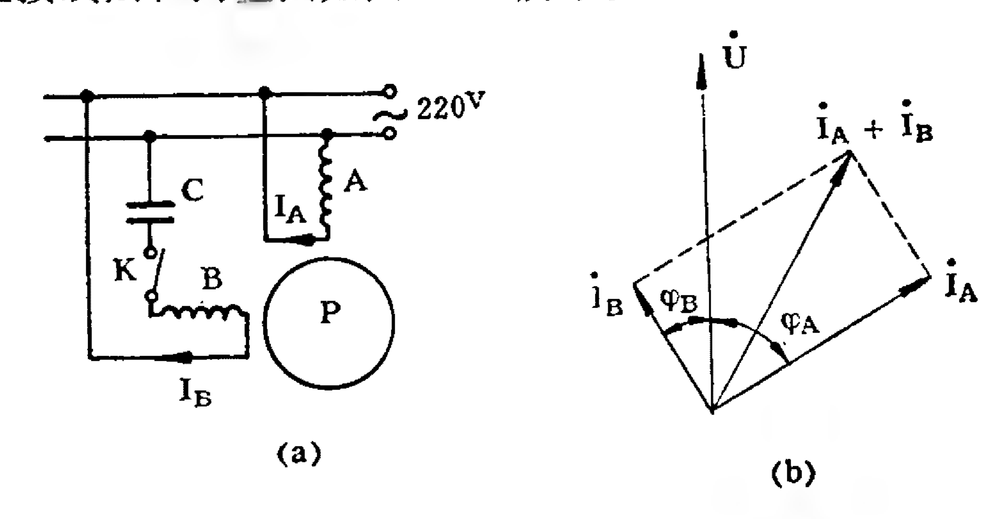


图2-3-1　电容式电动机的原理接线图和向量图

图2—3—1(a)中，A为运行绕组，B为起动绕组，C 为 电容器。当外施单相交流电源时，起动绕组和运行绕组接于同一电源上。由于起动绕组回路中串入了电容器C，那么它的电流I_B要超前于电源电压$\dot{U}$一个角度φ_B，而运行绕组中的电流$\dot{I}_A$滞后于电源电压$\dot{U}$一个角度φ_A，也 就 是 说起动绕组中的电流$\dot{I}_B$超前于运行绕组中电流$\dot{I}_A$一个角度φ，很显然，$\varphi = \varphi_A + \varphi_B$，

如图2—3—1(b)所示。

只要电动机的运行绕组和起动绕组的参数设计得恰当，电容器的容量又选择得合适，就可以使起动绕组中电流$\dot{I}_B$超前于运行绕组中电流$\dot{I}_A$的相位差接近90°电角度，如图2—3—1(b)所示。从而在电动机气隙中得到一个和两相交流电相似的圆形旋转磁场，从而使电容式电动机得以起动。

与分相电动机比较，电容式电动机具有较大的起动转矩，噪声小，过载能力强以及起动电流小等优点。图2—3—2表示了一台单相电动机，其运行绕组和起动绕组为同一数据，而起动绕组分别采用分相式起动和采用电容器起动时的电流向量

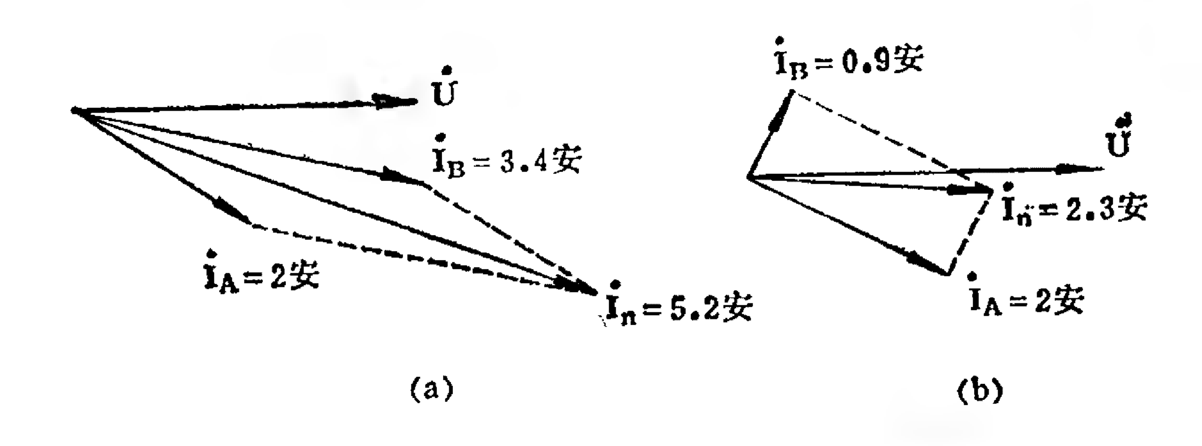


图2—3—2分相起动与电容起动时的电流向量图

(a)分相起动时的电流向量图 (b)电容起动时的电流向量图

图。比较图2—3—2中的(a)和(b)，显而易见，采用电容起动时，电动机的起动电流比分相起动时的起动电流要小得多。

二、电容式电动机的分类及其特点

按照电容器的接法和使用情况不同，电容式电动机可以分为电容起动式、电动机电容运转式电动机和电容起动、电容运转式电动机三种型式，下面分别加以介绍。

1.电容起动式电动机

图2—3—3所示为一电容起动式电动机的原理接线图，图中K为一离心开关，当外施单相交流电源之后，电动机开始运转当电动，机的转速达到其额定转速的70%～80%时，由于电动机转子圆周运动的离心力，使离心开关K动作，将起动回路从电源中切断，电动机继续运转，直至额定状况。

图2—3—4中曲线1为起动转矩曲线，当起动过程完成后，离心开关便自动断开，图中曲线1便过渡到曲线2，从而使电动机进入正常运行状况。

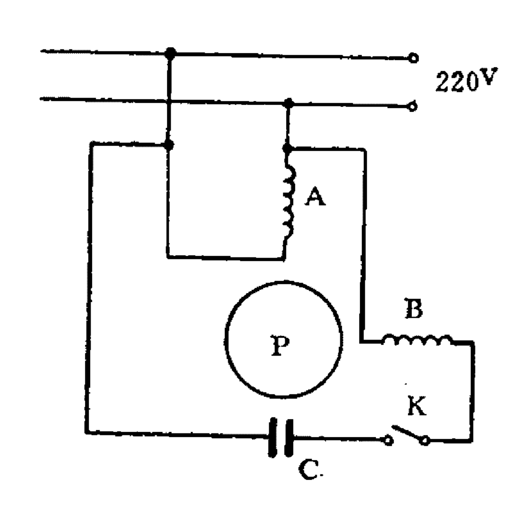


图2—3—3 电容起动式电动机原理接线图

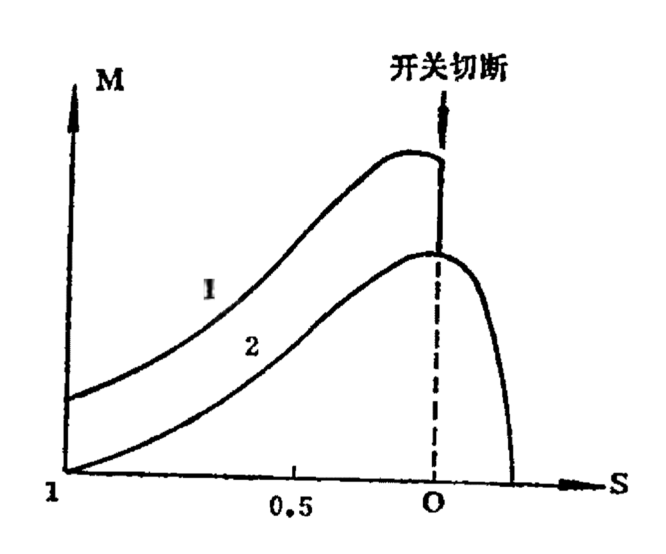


图2—3—4 电容起动式电动机的起动过程

电容起动式电动机的运行绕组通常占定子总槽数的2/3至3/4，而起动绕组则嵌置在1/4至1/3的定子槽中。

在这种电动机中，由于电容器只在短暂的起动时间内起作用，通电时间短。因而可以采用廉价的交流电解电容器。同时，为加大电动机的起动转矩，其电容量也可适当选择得稍大。

2.电容运转式电动机

如果将电容起动式电动机的起动绕组中串入的电容器设计成起动后不从电路中切除而长期接在电源上工作，那么，这种

电动机便是电容运转式电动机。电容运转式电动机的原理接线图如图2—3—5所示。

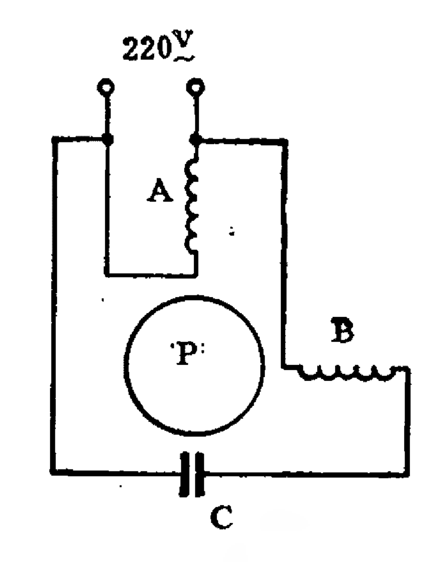


图2—3—5 电容运转式电动机原理接线图

由于电动机在运行中，有两个相距90°电角度的绕组同时工作，因此，电容运转式电动机实质上是一台两相异步电动机，只不过是由于运行绕组A与起动绕组B不相等（绕组的匝数和线径不相等），其端电压也不相等。这是一个两相不对称绕组的问题。在这种两相电动机中，如果起动绕组的匝数和电容器的电容量配置得恰当，它的定子绕组能够在电动机的气隙中建立起较为理想的圆形旋转磁场，或者将负序磁场大大削弱，从而使电动机的运行特性得到改善。同时，电容运转式电动机的效率和过载能力都较普通单相异步电动机为高，运转噪声也较小。又由于电容器参加运行，所以这种电动机的功率因数也较高。

此外，电容运转式电动机省去了起动装置，不必装置离心开关或起动继电器，这就简化了电动机的结构，降低了成本，提高了运行的可靠性

又由于两个绕组都带电运行，因此，在设计电动机时，材料利用率较高，也就是说，在材料同样多的情况下，这种电动机可以获得较大的功率。所有这些，都是电容运转式电动机的主要优点。

但是，由于电容器在电动机正常运行时参加工作，因此在选择电容器的电容量时，要根据电动机运行性能的要求来考虑，一般电容量选得较小（约在3～16微法之间）。因此，与电容起

动式电动机比较，它的起动转矩较小。

电容器长期接在电源上工作，电容器上承受的交流电压值常常高于外施电源电压，这就需要考虑电容器长期承受较高的交流电压，从而必须选择价格较贵的油浸式纸介电容器或密封式蜡浸纸介电容器，而不能采用廉价的电解电容器，这些都是电容运转式电动机的不足之处。

电容运转式电动机的运行绕组与起动绕组各占定子槽数的一半。

3.电容起动电容运转式电动机

电容起动电容运转式电动机是上述电容起动式电动机与电容运转式电动机的组合。它是综合了两者的优点而设计成的。电容起动电容运转式电动机的原理接线图如图2—3—6所示。

由图2—3—6可见，这种电动机运用了两个电容器 C_n和C_B，其中电容器C_B固定串入起动绕组内，它的电容量较小；而电容量较大的电容器 C_n 则是通过离心开关K与电容器C_B并联。当接通外施电源时，上述两个电容器 C_n和 C_B 都串联在起动绕组回路中，电动机便开始起动，电动机起动后，当转速达到额定转速的75%左右时，离心开关K便将电容器C_n切除，而电容器C_B则继续留在电路中运行。其起动过程如图2—3—7所示。

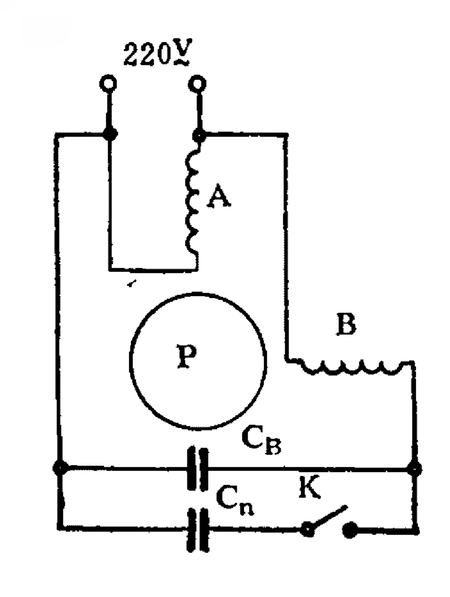


图2—3—6 电容起动电容运转式电动机原理接线图

由图2—3—7可见，当电动机起动之后，离心开关K断开，电动机由图中的曲线 2 转入曲线 3 继续运行。图中的曲线 1 同

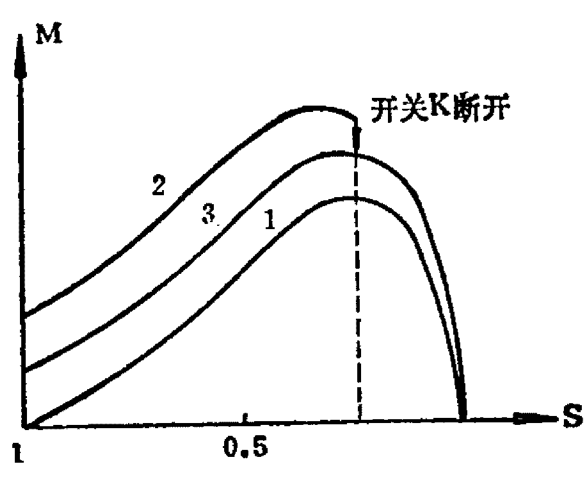


图2—3—7　电容起动电容运行式电动机起动过程

图2—3—4中的曲线2一样，只作为参考用。

为使电动机有较好的运行特性，应使它的定子绕组在气隙中产生圆形旋转磁场，这种磁场的幅值不论转到什么位置都是不变的。否则就会成为椭圆形旋转磁场，电动机的运行特性便会变坏。要达到产生旋转磁场的目的，由电机学的有关理论可知，其电容量在起动过程中和运行中要有所变化，即在电动机起动后，其起动绕组回路中的电容量必须减少。而电容起动电容运转式电动机就是依据这个要求设计的。因此，这种电动机继承了电容起动式电动机和电容运转式电动机的优点，它既有较大的起动转矩，又有良好的运行性能。

很显然，电容起动电容运转式电动机需要使用两个电容器，又装有离心开关或起动继电器，因此带来了结构上的复杂性，同时也增加了成本。

要使电动机在起动和运行时得到两种不同的电容量，上述方法是使用两个电容器，在起动时，两个电容器均接入电路，运行时仅用其中的一个，另一个则在完成起动任务后退出运行。运行时仅用一个，另一个退出运行。另外一种方法是利用一个自耦变压器与一个电容器配合，在起动时得到较大的等效电容。如图2—3—8所示。

在电动机起动时，由于自耦变压器AT的升压作用，使电容器C上出现较高电压，因为电容器的等效电容与外施于电容

器两端电压的平方成正比，所以，此时电容器的等效电容将比运行时大4～9倍，以增大电动机的起动转矩。当电动机的转速达到额定转速的70％～80％时，离心开关K由1点转换到2点（K为一双掷开关），这样便改变了自耦变压器的变比，降低了电容器C两端的电压，从而使电容器C的等效电容量减小，以适应电动机运行性能的要求。

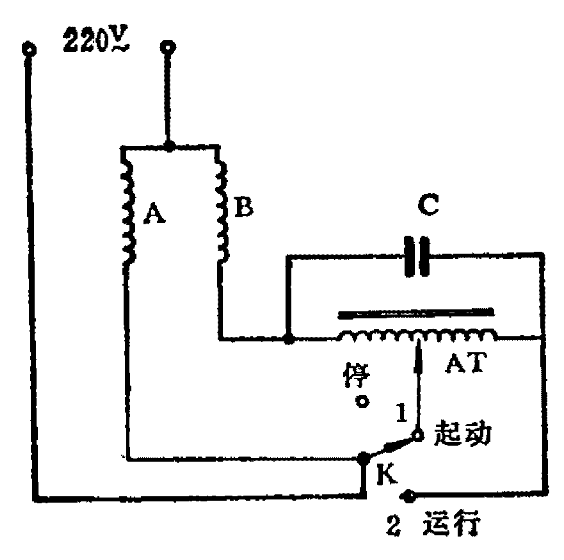


图2—3—8 电容器和自耦变压器组合

必须指出，由于起动时加在电容器上的电压较高，这就一方面要求选用工作电压较高的电容器；另一方面则要求离心开关能及时转接，使电容器在高电压下工作的时间不太长，否则将造成电容器绝缘击穿或引起过热。

自耦变压器AT的绕组可以抽几个头，以利于在电容器C上得到不同的电压，以获得所需要的等效电容，自耦变压器的接线示意图如图2—3—9所示。图中A为电动机的运行绕组，B

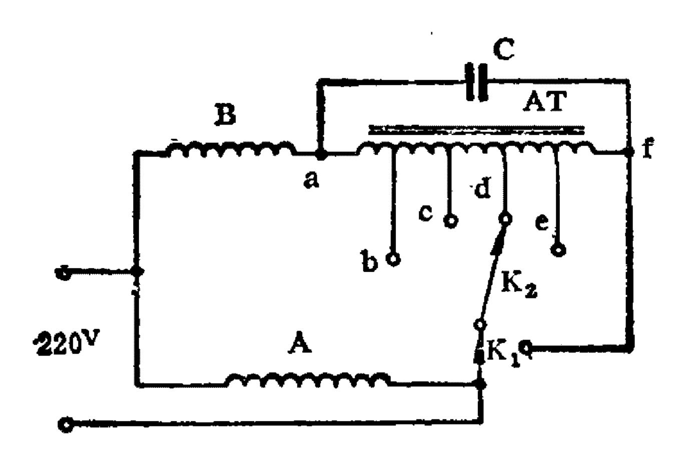


图2—3—9 自耦变压器接线示意图

为起动绕组，电容器C接在自耦变压器AT的两端af上，若自耦变压器的总匝数Waf为ad段上的匝数Wad的2倍，即Waf/Wad＝2，在电动机起动时，加在电容器C上的电压将提高一倍。那么，电容器C的等效电容可增至$2^2=4$倍。如果电容器C的标称电容量为4微法，则此时其等效电容量$C_{эк}=16$微法。显然，改用不同的抽头，可以得到不同的等效电容量。

不言而喻，这种电动机要求选用质量好的电容器，一般均选用油浸纸介电容器，其标称电容量为4～16微法。该电容器和自耦变压器一块装于电动机上面的长方形铁盒内。

三、电容器

电容器是电容式电动机的一个重要组成部分。

被绝缘材料分隔开的两块金属板或其他形状的导体，就形成了电容器。最简单的平板电容器是由两块金属板构成的，两块金属板之间隔着空气、云母或纸之类的绝缘物，金属板叫做极板，极板之间的绝缘物称为介质，平板电容器的示意图如图2—3—10所示。

图2—3—10 平板电容器示意图

电容器的种类很多，按其电容量的可变与否分为可变电容器和固定电容器；按照所用绝缘介质可分为薄膜、云母、纸质、瓷介、聚苯乙烯、电解电容器等。虽然各种电容器的结构和大小各不相同，但其构成原理却是一样的。

电容式电动机一般常采用的电容器有电解电容器、蜡封纸介电容器和油浸纸介电容器。

衡量一个电容器的性能和质量的指标有电容量、绝缘电阻、

介质损耗和额定工作电压（又称耐压）等，其中最主要的是电容量和额定工作电压两项指标。在选用电容器时，除了注意它的电容量外，还要注意它的额定工作电压，电容器的外壳上一般都标有电容量和额定工作电压，使用时，要注意加在电容器上的电压不要超过其额定工作电压，否则，电容器将被击穿。如果单个电容器的额定工作电压不能满足要求时，则可用串联两个或几个电容器的方法来满足电压要求。不过几个电容器串联起来后，其总电容量变小了：

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\cdots\cdots\frac{1}{C_n} \qquad (2—3—1)$$

若一个电容器的电容量不够时，可采用两个或几个电容器并联的方法来增大电容量：

$$C=C_1+C_2+C_3+\cdots\cdots+C_n \qquad (2—3—2)$$

选用电容器除了注意其电容量和额定工作电压应满足要求外，还要根据不同的用途、需要以及经济性来选用，有时还应考虑对其他指标的要求，例如，仅做起动用的电容器，由于它带电时间短暂，便可以选用价格较廉的电解电容器，而且其电容量可以选得稍大一些。又如，与自耦变压器组合的电容器则要求其额定工作电压选得高些。

四、电容值的确定

电容式电动机的起动电容器和运行电容器的电容值的计算较为繁复，而且计算出来的电容值还得在电动机的试运行中加以调整。对于维修电工来说，当电容器损坏后，应按厂家所配电容器的规格进行更换。如果原来所配电容器遗失，则可参照同类型的电动机选用电容器。

对于电容起动式电动机，为了获得较大的起动转矩，电容器的电容量可以适当选得大些。对新系列CO型的电容起动式

电动机，其起动电容值可按表2—3—1所列数值选取；对老系列Jy型的电容起动式电动机，其起动电容值可按表2—3—2所列数值选取。

表2—3—1 CO系列电容起动式电动机电容值

电动机功率(瓦)	120	180		250	370	550	750
极数	2，4	2	4	2，4	2，4	2，4	2，4
起动电容值(微法)	75	75	100	100	100	150	200

表2—3—2 JY系列电容起动式电动机电容值

电动机功率(瓦)	180		250		400		600	800
极数	2	4	2	4	2	4	4	4
起动电容值(微法)	150	150	150	200	200	200	400	400

电容运转式电动机中，运行电容器的电容量不可选得过大。否则，虽有较大的起动转矩，但将影响电动机的运行性能。对于新系列DO型的电容运转式电动机，其运行电容器的电容量可按表2—3—3所列数值选取；对于老系列JX型电容运转式电动机，其运行电容器的电容量可按表2—3—4所列数值选取。

表2—3—3 DO系列电容运转式电动机电容值

电动机功率(瓦)	8	15		25		40		60		90		120		180	
极数	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
运行电容值(微法)	1	1	1	1	2	2	2	2	4	4	4	4	4	6	6

表2—3—4　JX系列电容运转式电动机电容值

电动机功率(瓦)	4	8		15		25		40		60		90
极　数	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2
运行电容值(微法)	1	0.75	1	1	1.5	1.5	2.5	2	6	6	8	10

如果发现电动机的起动转矩偏小，则可适当增大电容器的电容量。若发现起动电流太大，可适当增加起动绕组的匝数并同时减小电容器的电容量。如果发觉电容器所承受的电压过高，则应增大电容器的电容量。

第四节　几种单相异步电动机性能的比较

我国目前生产的电阻分相式单相异步电动机、电容起动式单相异步电动机和电容运转式单相异步电动机的新、老型号如表2—4—1所示。其主要技术参数见附录五至附录十。

表2—4—1　三种单相异步电动机新老型号对照表

名称 型号	电阻分相式	电容起动式	电容运转式
老系列	JZ	JY	JX
新系列	BO	CO	DO

如前所述，电阻分相式单相异步电动机的起动方式与电容起动式单相异步电动机是不同的：前者是利用电动机起动绕组和运行绕组的电阻电抗比的不同来形成旋转磁场的；而后者则是利用电容器进行分相来产生旋转磁场的。由图2—3—2可见，由于电阻分相式单相异步电动机起动时，其运行绕组电流

$\dot{I}_P$与起动绕组电流$\dot{I}_n$之间的相位差比电容起动式单相异步电动机为小，所以其起动电流大。又由于单相异步电动机的起动转矩正比于 sinφ（φ为运行绕组电流 I_P 与起动绕组电流 I_n 之间的相位角），所以，电阻分相式单相异步电动机的起动转矩比电容起动式单相异步电动机小；而对于电容运转式单相异步电动机来说，考虑到改善其运行性能的要求，其电容器的电容值选得小，这就使得电动机运行绕组电流$\dot{I}_P$与起动绕组电流$\dot{I}_n$之间的相位差变小，因而其起动转矩较小。由于电容值选得小，使得起动绕组电流$\dot{I}_n$的幅值下降显著，因此，尽管其运行绕组电流$\dot{I}_P$与起动绕组电流$\dot{I}_n$之间的相位差变小，但通过向量作图，仍然可以看到其起动电流较小。上述三种类型的单相异步电动机在起动性能上的比较见表2—4—2、表2—4—3和表2—4—4。

表2—4—2　BO系列电阻分相式电动机的起动性能

额定功率(瓦)		40	60	90	120	180	250	370
起动转矩倍数	4极	2.2	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.3
	2极	—	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.25
起动电流(安)		7	8	10.5	12.5	15.5	20	29

表2—4—3　CO系列电容起动式电动机的起动性能

额定功率(瓦)		120	180	250	370	550	750
起动转矩倍数	4极	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	2极	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
起动电流(安)		9	12	15	21	29	37

表2—4—4　DO系列电容运转式电动机的起动性能

额定功率(瓦)		8	15	25	40	60	90	120	180
起动转矩倍数	4极	0.7	0.7	0.7	0.7	0.35	0.35	0.35	0.35
	2极	—	0.7	0.7	0.7	0.50	0.35	0.35	0.35
起动电流(安)		0.8	1	1.5	2	2.5	3.2	5	7

从运行情况来看，电阻分相式单相异步电动机与电容起动式单相异步电动机都只有主绕组一个绕组工作，因此，二者的运行性能是完全一样的。在额定功率相等和极数相同的情况下，这两种电动机的功率因数和效率完全一样，见表2—4—5 和表2—4—6。

表2—4—5　BO系列电阻分相式电动机的功率因数和效率

额定功率(瓦)		40	60	90	120	180	250	370
功率因数	4极	0.54	0.56	0.58	0.59	0.60	0.62	0.64
	2极	—	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74
效率	4极	32%	38%	44%	50%	56%	60%	63%
	2极	—	42%	52%	56%	60%	63%	65%

表2—4—6　BO系列电容起动式电动机的功率因数和效率

额定功率(瓦)		120	180	250	370	550	750
功率因数	4极	0.59	0.60	0.62	0.64	0.67	0.70
	2极	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78
效率%	4极	50	56	60	63	66	69
	2极	56	60	63	65	68	70

在制造电阻分相式单相异步电动机和电容起动式单相异步电动机时，在相同的额定功率和相同极数的情况下，往往采用同一种铁芯和同一种工作绕组，见表2—4—7和表2—4—8

表2—4—7　BO系列三种容量电动机的铁芯和主绕组参数

额定容量(瓦)	极数	定子铁芯			槽数		运行绕组	
		外径(毫米)	内径(毫米)	长度(毫米)	定子	转子	线规	每极匝数
370	2	130	66	62	24	18	0.74	218
	4	130	72	80	24	22	0.90	126
250	2	102	52	70	24	18	0.62	270
	4	130	72	62	24	22	0.80	161
180	2	102	52	56	24	18	0.59	352
	4	102	58	70	24	22	0.67	200

表2—4—8　CO系列三种容量电动机的铁芯和主绕组参数

额定容量(瓦)	极数	定子铁芯			槽数		运行绕组	
		外径(毫米)	内径(毫米)	长度(毫米)	定子	转子	线规	每极匝数
370	2	130	66	62	24	18	0.74	218
	4	130	72	80	24	22	0.90	126
250	2	102	52	70	24	18	0.62	270
	4	130	72	62	24	22	0.80	161
180	2	102	52	56	24	18	0.59	352
	4	102	58	70	24	22	0.67	200

电容运转式单相异步电动机由于有电容器、副绕组与运行绕组一道参加运行，所以，它的气隙磁场较为接近于圆形。而电阻分相式单相异步电动机和电容起动式单相异步电动机的气隙磁场的椭圆度较大，负序分量较强，而负序磁场的存在是使单相异步电动机各项经济性能指标变坏的一个主要因素，因而，电阻起动式单相异步电动机和电容起动式单相异步电动机的运行性能较电容运转式单相异步电动机差，其空载电流较大，功率因数和效率也较低。在额定功率相等和极数相同的情况下，其体积重量也较大。DO系列电容运转式单相异步电动机 的 运行性能见表4—4—9。

表2—4—9 DO系列电容运转式电动机的运行性能

额定功率(瓦)		8	15	25	40	60	90	120	180
功率因数	4极	0.8	0.8	0.82	0.82	0.84	0.84	0.86	0.86
	2极	—	0.82	0.84	0.84	0.86	0.86	0.88	0.88
效率(%)	4极	23	30	35	40	45	49	53	57
	2极	—	36	42	48	53	58	62	65

几种常用单相电动机性能的比较请见书的最后 一 面 (283面)的表2—4—10。

第三章　单相异步电动机的运行与维修

第一节　单相异步电动机的运行条件和性能

合理选用和正确使用各种类型的单相异步电动机是保证其正常运行的两个重要环节。所谓合理选用，就是按照电动机负载机械的特定运行条件，选定能够满足其要求的最经济的电动机；所谓正确使用，就是按照电动机的使用、维护要求和其运行特性进行安装、运行和维护。

一、单相异步电动机的运行条件

单相异步电动机的运行条件主要是指电源条件、环境条件和负载条件。

1．电源条件

电源的电压、频率和相数都应与电动机铭牌相符合。电压(频率为额定值时)与其额定值的偏差不超过±5%，频率(电压为额定值时)与额定值的偏差不超过±1%。

当电源电压额定，而频率低于额定值时，电动机的最大转矩将增大，起动转矩也将增大，功率因数cosφ将降低，转速下降，效率略有下降，温升也稍有升高。

当电源频率为额定值，而电压低于额定值时，电动机的最大转矩将降低，起动转矩将减小，电动机的温升也将增高。

2．环境条件

电动机运行地点的环境温度、海拔高度必须符合技术条件

的规定。其防护能力必须与其工作场所的周围环境条件相适应。

3.负载条件

电动机的性能应与起动不同定额的负载和变速或调速等负载条件相适应，使用时应保持其负载不超过电动机的规定能力。

二、单相异步电动机的基本性能

1.额定功率

当电动机的输出功率增加时，其定子和转子电流都要增大。电流的增大，导致定子绕组和转子的发热增加，电动机的温度随之升高，而当温度超过一定数值时，电动机内部的绝缘材料的老化过程就会加速，从而使电动机的寿命降低，温升过高时，还会使电动机很快烧毁。因此，和三相异步电动机一样，每台单相异步电动机在设计时，都规定了一个输出功率的限度，这个限度就是电动机的额定功率，又称为额定容量。一般容量较大的单相异步电动机的额定容量都在电动机的铭牌上标出，而容量较小的单相异步电动机常常只在铭牌上标出其额定电压和额定电流。

需要指出，电动机的额定功率是指它向负载输出的功率，而不是指它从电源所吸取的电功率。由于电动机内部的损耗，这两个功率并不相等。同时，电动机的额定功率是指电动机可以持续输出功率的最大限度，不一定就等于该电动机使用时实际输出的功率，而电动机实际输出的功率与负载的轻重有关。

2.效率

由于电动机内部的损耗，所以电动机输出的功率与它从电源中吸取的功率总是不相等的。电动机的输出功率P_2与输入功率P_1之比，就叫做电动机的效率，写做：

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \qquad (3—1—1)$$

因为P_2总是小于P_1的，所以电动机的效率η总是低于1的。效率愈低，则表明电动机内部能量的损耗愈大。此外，电动机的效率还与负载的大小有关。空载时，电动机的输出功率$P_2=0$，但电动机总存在着损耗，即P_1不会等于零，因此，其效率$\eta=0$。随着负载的增加(在额定负载范围内)，电动机的效率η也逐渐提高。一般说来，满载运行状况下的效率是最高的(其他条件均在额定状况)。单相异步电动机的效率比三相异步电动机的效率要低。

3.功率因数

电动机的定子绕组对电源来说是一个电感性负载，因此，电动机在运行中，定子绕组中电流的相位比电压相位滞后一个角度φ，这个角度的余弦就叫做电动机的功率因数，通常用cosφ表示。

电动机的功率因数cosφ与它所带负载的大小关系甚大。电动机空载时，功率因数很低；随着负载的增加，电动机的功率因数也相应地提高。一般说来，电动机在满载附近运行时，其功率因数为最高。有电容器参加运行的单相电容式电动机的功率因数较三相异步电动机高，而分相式电动机、电容起动式电动机及罩极式电动机的功率因数都较三相异步电动机低。

4.额定转矩与最大转矩

当电动机的输出功率等于额定功率时，转子受到的转矩叫做额定转矩，通常用M_H表示，与额定转矩所对应的转速叫做额定转速，以n_H表示，如图3—1—1所示。

一般来说，负载的阻力转矩应该等于或小于额定转矩，即工作点应位于图3—1—1中曲线的D点或D点的右边。如果负载的阻力矩大于额定转矩，那么电动机的工作点就在D点的左边。此时，电动机的输出功率将大于其额定功率，定子绕组和转子

中的电流都将大于额定值。这时，电动机虽然仍能匀角速旋转，但有可能产生过热现象，这就是所谓电动机的过载。

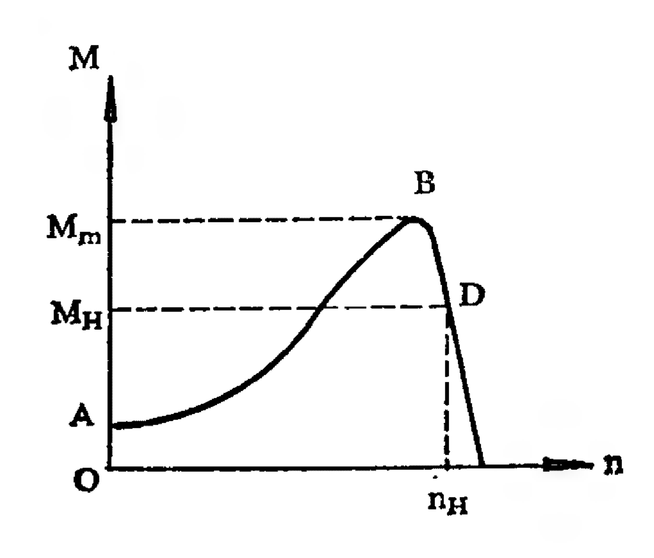


图3—1—1　额定转矩和最大转矩曲线

图 3—1—1 中曲线的最高点B所对应的转矩，叫做电动机的最大转矩M_m。如果在电动机稳定运行时将负载阻力矩增加到大于最大转矩M_m，那么，不论转速取什么数值，电动机的转矩总是小于负载阻力矩的，于是，转子转速将不断下降直至停转。因此，为了使电动机在运行时不容易由于偶然的或暂时性的过载而导至停转，在设计和制造单相异步电动机时，应保证最大转矩M_m比额定转矩M_H要大一些，通常称最大转矩与额定转矩之比M_m/M_H为过载能力。

5.起动电流

由于电动机的转子具有一定的静惯性，所以，当电动机的定子绕组接通电源后，转子从静止状态到额定转速需要有一个短暂的过程，这个过程叫做电动机的起动。

电源刚接通时，电动机定子绕组通过的电流叫做电动机的起动电流。当电源刚接通时，定子电流立即产生旋转磁场，但因转子此时尚未转动，所以定子旋转磁场与转子的相对运动速度最大（即等于电动机的同步转速），此时，在转子的鼠笼条中将出现很大的感应电流，通过气隙磁场的感应作用，反应到定子绕组中来，使定子绕组的电流增大。因此，一般单相异步电动机的起动电流为额定电流的2至6倍。如此之大的起动电流将引起

电网电压下降，影响其他用电设备的正常工作。同时，电网电压的降低将使电动机的起动时间延长，较长时间地使定子绕组和转子通过大电流，从而引起电动机过热。对于容量较大的电动机，要采取适当的起动措施。而单相异步电动机的容量一般都很小，起动电流的绝对数值不大，况且转子的惯性也较小，所以，可以在额定电压下直接起动。

6.起动转矩

在电动机起动时，希望其起动转矩尽可能大些为好。所谓起动转矩，就是定子绕组刚接通电源时转子所受到的转矩。起动转矩愈大,转子在起动时的角加速度也愈大,这样就可以缩短电动机的起动时间，从而使电源电压少受影响，并使电动机本身不容易过热。

电动机的起动转矩通常用它与额定转矩的百分比来表示。第二章中所述各类单相异步电动机中，以罩极式电动机的起动转矩为最小,仅为额定转矩的30%～80%；以电容起动式电动机和电容起动电容运转式电动机的起动转矩为最高，约为其额定转矩的250%～350%。

有些负载，起动时，负载阻力矩很小，随着转速的升高，其阻力矩逐渐增大，例如电风扇、鼓风机、水泵等。还有一些负载，在起动时，其负载阻力矩比额定转矩大得多，例如压缩机、冷冻机和井泵等。因此,在选用配套的单相异步电动机时，应当充分注意这种情况。

7.温升

电动机作为将电能转换成机械能的装置，在能量的转换过程中，总要有一部分能量消耗在电动机内部，这一部分能量将以发热的形式表现出来，因而引起电动机的温度升高。随着与周围环境温度差别的增大，电动机向周围空气的散热便加快，

当电动机温度达到某一数值时，单位时间内发出的热量等于散去的热量，从而达到了热平衡，此时，电动机的温度便稳定下来而不再继续升高。电动机的温度与环境温度之差，叫做电动机的温升。在环境温度一定的情况下，温升愈高，电动机的温度也愈高。电动机所用各种绝缘材料都有一定的允许温度，如表3—1—1所示。超过这个允许值，绝缘材料将加速老化，电动机的寿命将明显缩短。实验指出，电动机的工作温度每提高8℃，则绝缘的使用期限将缩短一半，这就是所谓"八度规则"。由此可见，在运行中，电动机的温升不允许长期超过其允许值。

表3—1—1　绝缘材料的等级及耐温度

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
耐温度(℃)	90°	105°	120°	130°	155°	180°	180°以上
材料举例	未经处理的有机材料	浸渍处理过的有机材料，如纸、棉纱和木等	聚乙烯类绝缘	云母带、云母纸、甘油树脂、虫胶	聚脂绝缘类	硅有机绝缘	天然云母、玻璃、瓷等

电动机铭牌上没有标出其允许温升值，而只标明其绝缘等级。例如铭牌上标明了绝缘等级为E级，即说明该电动机定子绕组允许的平均温升为80℃。

第二节　单相异步电动机的绕组

一、与绕组有关的基本概念

1. 绕组元件(线圈)

在制造或修理电动机绕组时，一般都是先用绕线模绕成线

圈，然后依照一定的规律把线圈嵌入铁芯槽中，再连接成绕组。由于绕组是由线圈组成的，所以线圈又称为绕组元件。绕组元件可能是单匝的，如图3—2—1(a)所示，也可能是多匝的，如图3—2—1(b)所示。

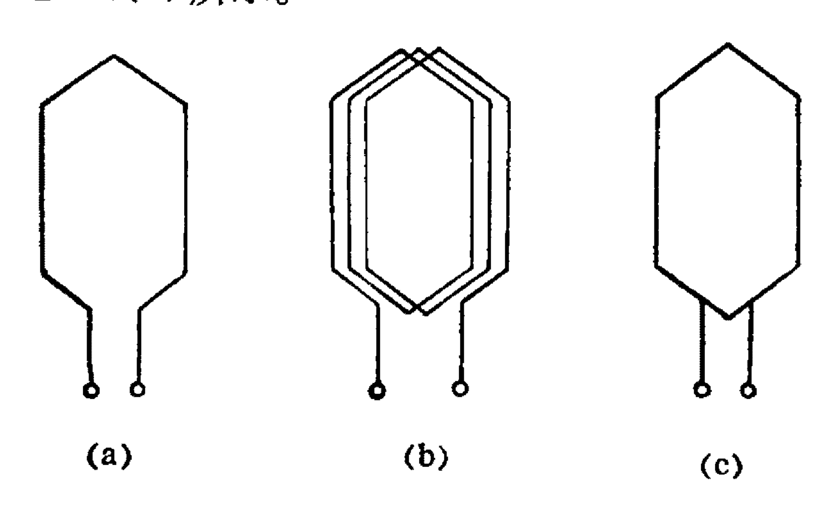


图3—2—1　电动机的绕组元件

(a)单匝元件(b)多匝元件(c)多匝元件简化图

绕组元件嵌放在铁芯槽内的直线部分，担负着电磁能量的转换作用，因而称为有效部分；两个有效部分之间的联结线称为端部，它位于铁芯槽外，仅起着把有效部分联接起来的作用，而不直接转换电磁能量。因此，为了节省铜线，改善电动机性能，在不影响工艺操作的前提下，端部应尽可能地缩短些。

大部分绕组元件都是多匝的。然而，为图形的简明起见，我们有时以单匝元件来画绕组元件图，如图3—2—1(c)所示。

2.极距

极距是指电动机每个磁极所占的铁芯槽数，通常用τ表示。

$$\tau = \frac{Q_1}{2p}(\text{槽}) \qquad (3—2—1)$$

式中：Q_1——定子铁芯的总槽数；

p——电动机的极对数。

极距τ也可用长度表示，即每个磁极沿定子铁芯内圆所占的范围：

$$\tau=\frac{\pi D}{2p}(\text{厘米}) \qquad (3-2-2)$$

式中：D——定子铁芯内径(厘米)；

p——电动机磁极对数。

3.节距

一个线圈的两个有效边之间所距离的槽数，叫做线圈的节距，又叫做跨距，通常用y表示。

当节距y等于极距τ时，则称为整距绕组；如果线圈的节距y小于极距τ时，则称为短距绕组；当线圈节距y大于极距τ时，则称为长距绕组。由于短距绕组可以节省绕组端接部分的铜线，还可以改善电动机的电气特性，所以电动机大多采用短距绕组。

4.电角度

电动机转子铁芯的端面是一个圆，从几何角度来说是360°，这是指的机械角度。也就是说，电机转子铁芯的圆周就是360°机械角度。然而，从磁势的观点来看，电机转子每转过一对磁极，其磁势沿空间从零变化到正的最大值，然后又降为零，再变化到负的最大值，最后又回到零值，完成一个交变周期，我们将电机一对极(一个N极和一个S极)所对应的机械角度定为360°电角度，电机转子若转过两对极，磁势便交变两个周期，即为720°电角度。所以说，如果电机有p对磁极，则电机转子铁芯圆周应为p×360°电角度，如图3—2—2所示。

5.单层绕组与双层绕组

交流电机常用的绕组型式可分为单层绕组和双层绕组两大类，所谓单层绕组，就是在每个槽内只嵌置一个线圈边，该线圈的另一个有效边嵌置在另一个槽内。所以电机中总的线圈数

等于总槽数的一半。所谓双层绕组是每个槽中嵌置两个线圈边，中间用层间绝缘隔开，线圈的一个边嵌在一个槽的下部，另一个边则嵌在另一个槽的上部，如图3—2—3所示。此时，电机绕组的线圈数等于定子槽数。

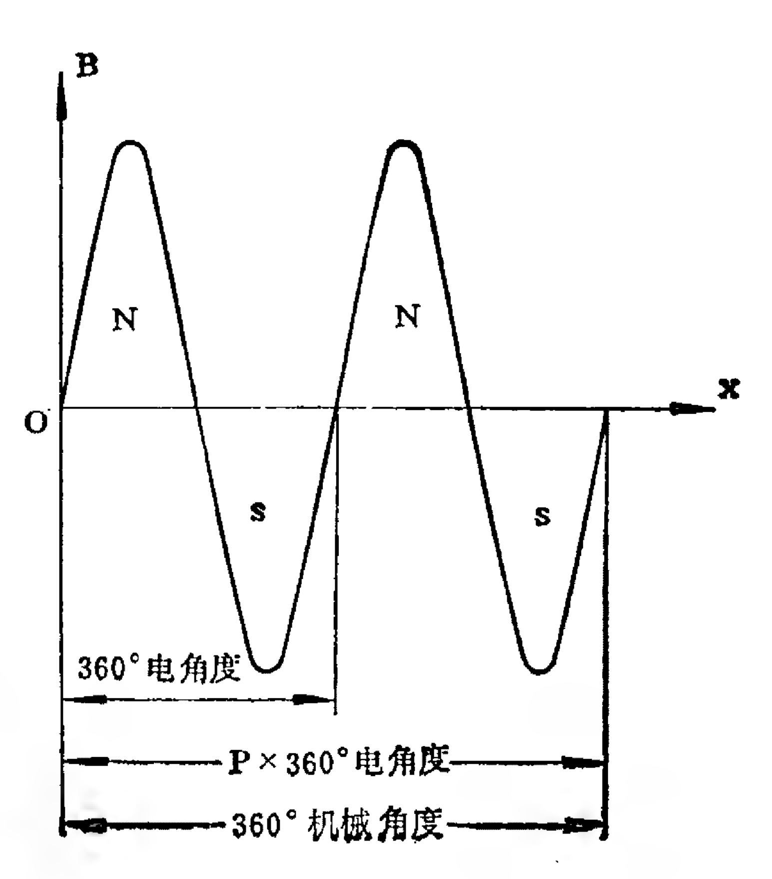


图3—2—2　电角度与机械角度

二、绕组的显极连接和庶极连接

电动机绕组极相组之间的连接法分为显极连接法和庶极连接法两种。采用显极连接法时，同一相的不同极相组的线圈里所通过的电流方向应是相反的。它在定子铁芯中所产生的磁极数等于每一相所包括的极相组数。也就是说，每相中的各个极相组所产生的磁极为N极与S极相互交替着，如图3—2—4所

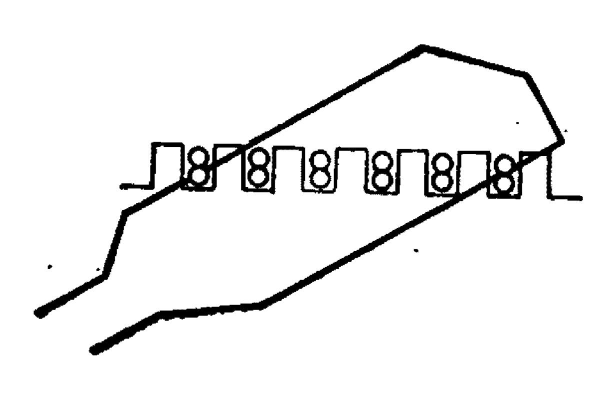


图3—2—3　双层绕组示意图

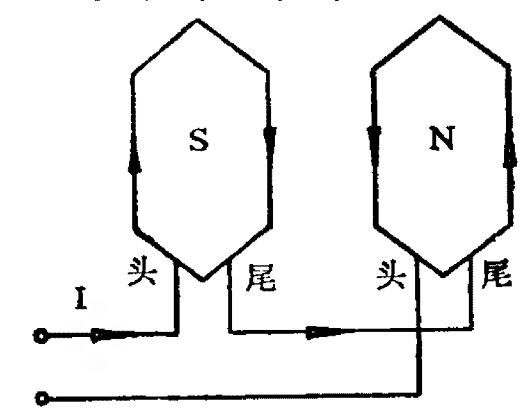


图3—2—4　显极连接法示意图

示。这种连接法就是我们常说的头连头、尾连尾的接线方法。图 3—2—5 所示为显极连接时电动机的磁路情况。

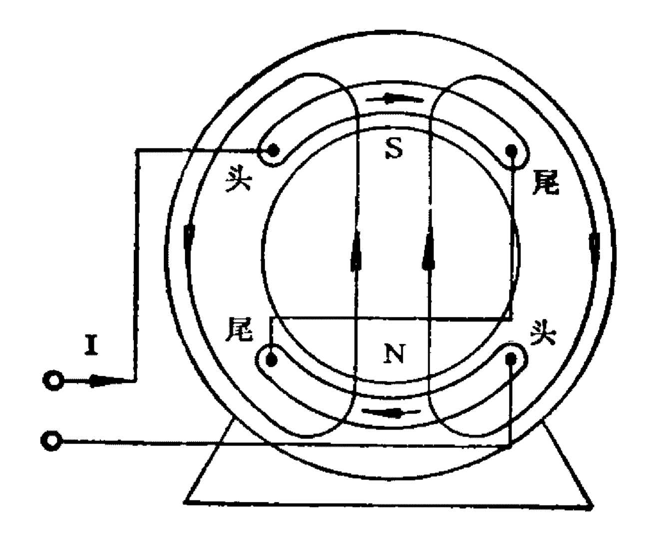


图3—2—5　显极连接时电动机的磁路

若是把极相组相互之间连接起来，使它们所产生的磁极极性为同性磁极，绕组的这种连接法叫做庶极连接法。此时，同一相中的各个极相组的电流方向是相同的。由于电流方向相同，根据右手定则可知，同一相中每个极相组在定子铁芯中产生的磁极极性相同。然而，磁极总是成对出现的，仅有同极性的磁极是不能共存于定子铁芯中的，这样就势必在两个相同磁极的中间出现了和它们极性相反的磁极，从而构成了磁通路。如图3—2—6 所示。因此，庶极连接时，在定子铁芯中所产生的磁极对数为显极连接时的两倍。这种连接方法就是我们常说的头连尾、尾连头的顺序连接法，如图3—2—7所示。

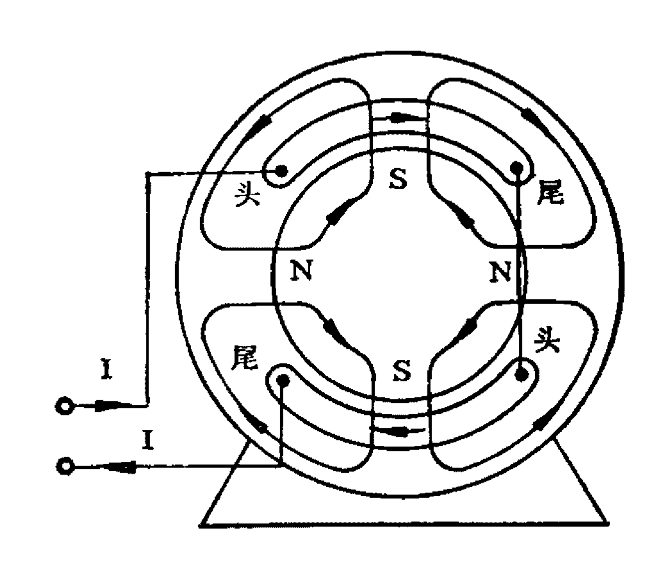


图3—2—6　庶极连接时电动机的磁路

庶极连接法具有绕组简单、接线方便、通风良好等优点。但是它使定子磁通波形发生畸变，产生非正弦波。由于非正弦

波所产生的高次谐波引起附加力矩，因此在实际应用中，庶极连接法不如显极连接法应用得普遍。

三、单相异步电动机的绕组

1．单层叠绕组

什么叫叠绕组呢？如图3—2—8所示。绕组各线圈的节距y都是相等的，它的每一个线圈的末边均返回其邻近的次一个线圈的起边，整个线圈组成环环相叠的形象，因而把这种绕组叫做叠绕组。因为叠绕组的每一个线圈形状大小都相同，所以叠绕组又称为等元件绕组。

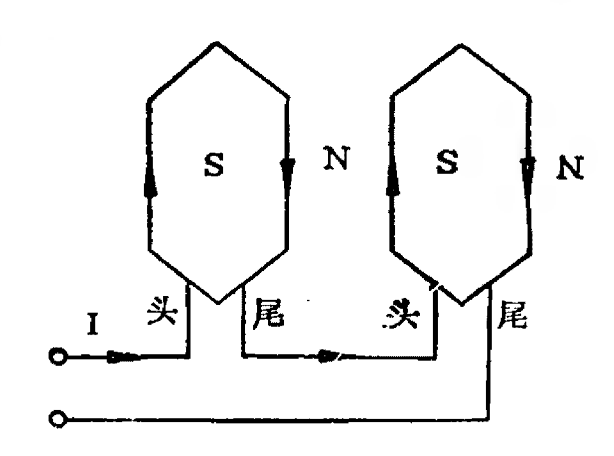


图3—2—7　庶极连接法示意图

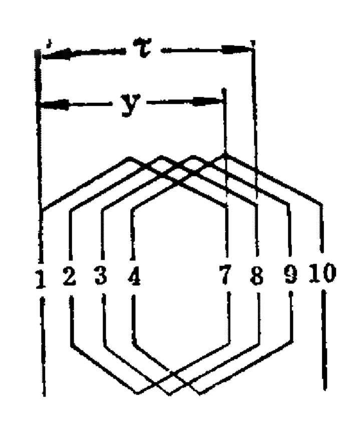


图3—2—8　叠绕组示意图

单层叠绕组每槽只嵌一个线圈边，这就省去了层间绝缘，提高了铁芯槽的利用率。同时，它的嵌线工艺简便，节省工时，而且其端接部分呈圆弧形或方格形，有利于空气流动和线圈的散热。但是它的端接部分需要相互交错而将端部扭曲。但单相异步电动机因其功率小，导线细，这个问题并不突出。

单相异步电动机中，单层叠绕组随着落线方式和接法的不同又稍有区别。现以一台4极24槽分相电动机为例来加以说明。

图3—2—9为该分相电动机单叠绕组展开图。采用整距绕组，全节距y＝24/4＝6。

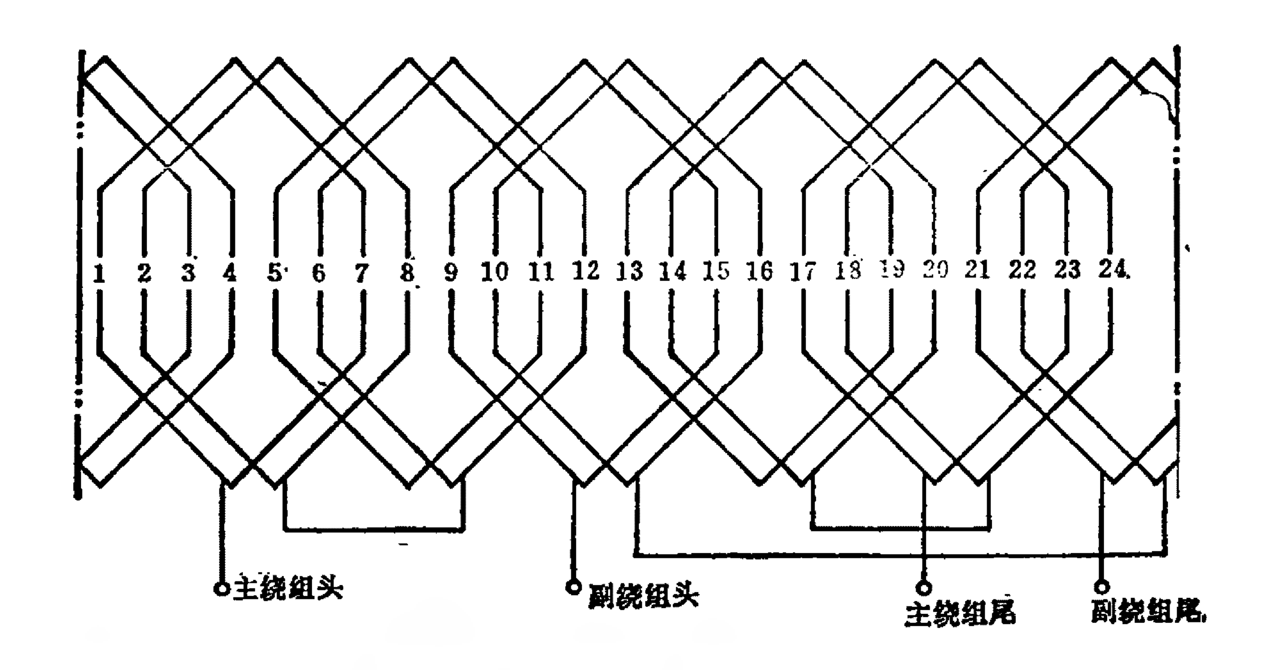


图3—2—9　4极24槽电动机单叠绕组展开图　y = 6　显极连接法

由图3—2—9可见，主绕组占有定子槽数为24×2/3＝16槽，有8个绕组元件；副绕组占有24×1/3＝8槽，有4个绕组元件。因为节距为偶数（y = 6），所以，在落线时，应先把同一极相组的两个线圈边嵌入两相邻的槽内（例如图3—2—9中的23、24槽），然后依次间隔两槽下线。

为了缩短绕组的端接部分，并便于落线，采用短距绕组，取节距y = 5，也采用显极连接法，如图3—2—10所示。由于线圈节距为奇数（y = 5），则可以采用间槽落线的方法。

这台4极24槽分相电动机还可以采用庶极连接法，如图3—2—11所示。庶极连接时，电动机绕组的排列明显地分为两部分。其端部的连接线也不像图3—2—10那样均匀。它只有两个极相组，仅为显极连接时的二分之一。

单相异步电动机的定子槽内，嵌有主绕组和副绕组两套绕组。由于磁场中高次谐波（主要是5次和7次谐波）的影响，

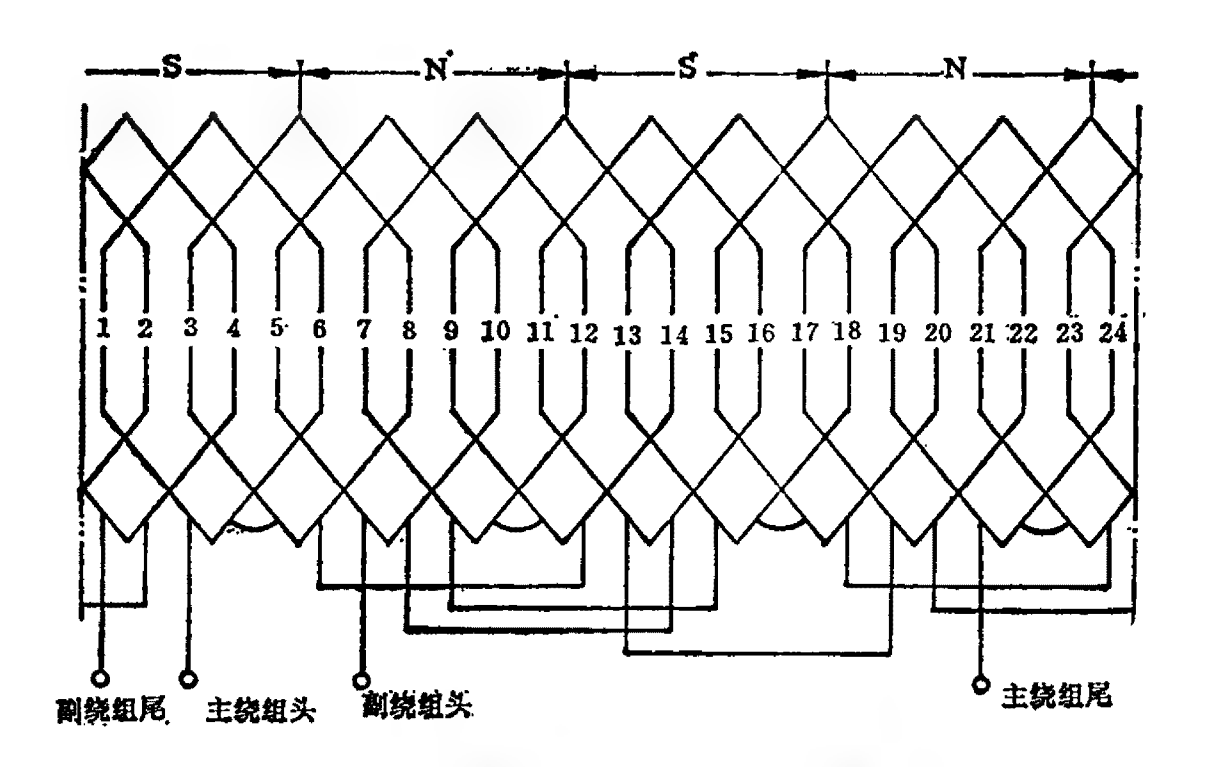


图 3—2—10　4 极24槽分相电动机单叠绕组展开图　y = 5
显极连接法

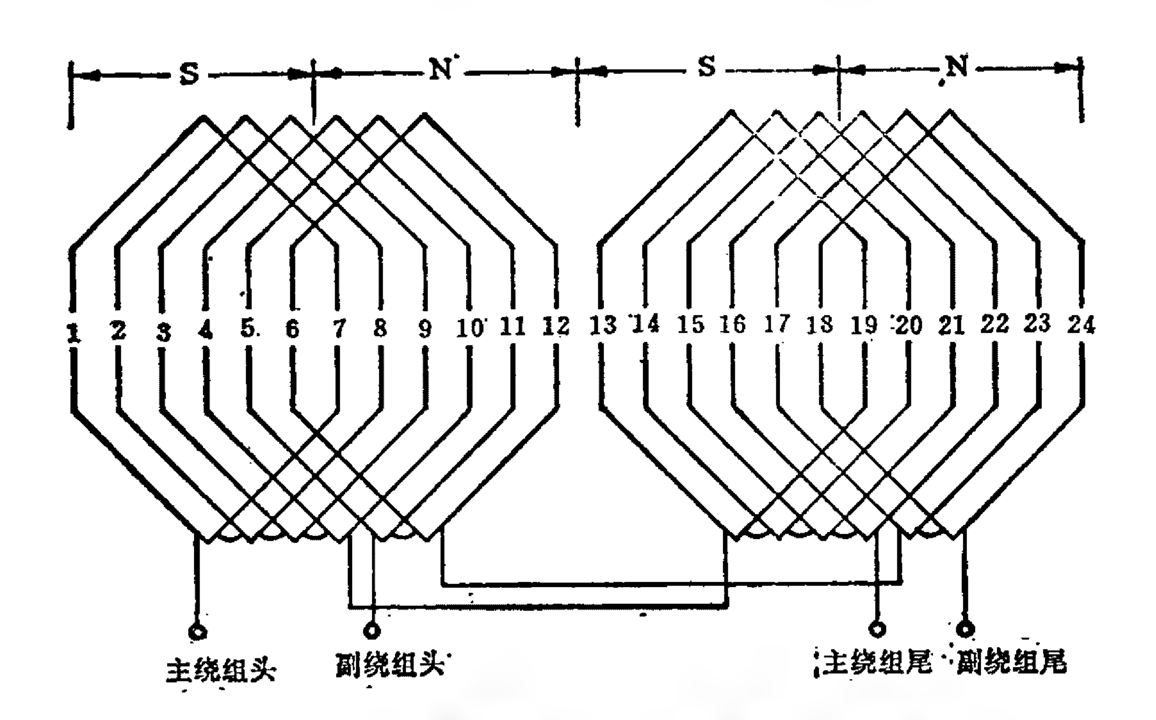


图 3—2—11　4 极24槽分相电动机单叠绕组展开图　庶极连接法

在电动机的转矩曲线中形成明显的凹坑，如果设计不当，将使电动机的最小转矩M_{min}大为降低，如图3—2—12所示。

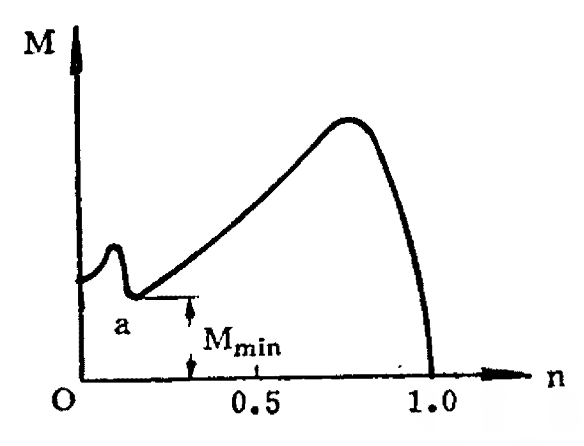


图3—2—12 5次和7次谐波对电动机转矩的影响

在电动机起动时，当负载力矩大于这个最小转矩M_{min}时，转速将停留在a点而加速不上去，因为这时的电磁力矩与负载力矩平衡，没有加速力矩，电动机无法跳过这个凹坑，从而使电动机“胶着”在低转速而不能达到额定转速，即使电动机能跳过这个凹坑，但无疑地延长了电动机的起动时间，这对起动绕组不参加运行的单相异步电动机来说，将使其起动绕组较长时间通电而过热，甚至烧毁。

和三相绕组不同，单相单叠绕组没有自动消除三次谐波的功能，而三次谐波对单相电动机来说危害甚大。但是，如果将主绕组不遍布于定子各槽，而只分布在三分之二的定子槽中，则主绕组中三次谐波被自动消除。在这一点上，和三相绕组相比，有异曲同工之效。此外，当主绕组遍布于定子各槽时，由电动机的电势星形图分析，可以看出绕组的分布系数较低，使绕组的合成电势减少得甚多，从而将使绕组的有效匝数减少而不得不加多绕组的实际匝数，因而造成铜线的浪费。若将主绕组分布于定子的三分之二的槽中，则可以明显地提高绕组的分布系数、节约铜线，而绕组的合成基波电势却不受重大影响。这就是分相电动机中，主绕组通常只占定子槽数的三分之二，而副绕组只占定子槽数的三分之一的道理。

对于电容运行式电动机，由于起动绕组在电动机起动后不

退出运行，仍接在电源上工作，所以，电动机的主、副绕组所占槽数各为定子总槽数的二分之一。

需要指出，三相绕组采用短距绕组时，可以大大削弱高次谐波的不良影响，而基波合成电势损失甚小。然而，对单相电动机的单层叠绕组而言，由于各极各槽均属于同一相，因而其短距系数仍等于 1 。因此，采用短距绕组仅能起到缩短绕组端接部分的作用。所以，从减少绕组的实际匝数、提高绕组铜线的利用率并且获得较高的合成电势着想，单相电动机中的单层叠绕组一般都采用整距绕组。

2.双层叠绕组

为了更有效地消除电动机主、副绕组中的三次谐波和高次谐波，与三相异步电动机类似，单相电动机也可以采用双层叠绕组，如图 3 — 2 —13所示。图中所示为 4 极24槽的分相电动机双层叠绕组的展开图，并且采用缩短三分之一极距的短距绕组。双层叠绕组将单层绕组重加剖分，有效地削弱了端接部分的互感作用，从而减小了绕组端接部分的漏抗。由于电动机绕组的短距是层与层之间的分布，所以，双层叠绕组可以通过采

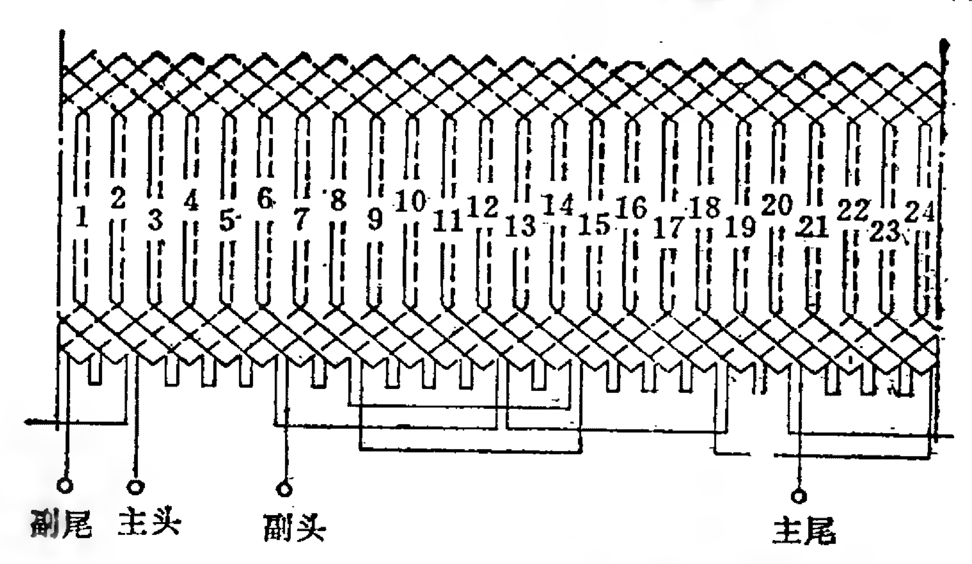


图 3 — 2 —13　4 极24槽分相电动机的双层叠绕组展开图

用合理的节距来削弱磁场中的高次谐波。因此，双层叠绕组往往比单层叠绕组具有较大的起动转矩，从而改善了电动机的起动性能，并使电动机有较高的满载功率因数。不过对于单相异步电动机来说，一般容量小而铁芯尺寸亦小，采用双层叠绕组时，嵌线比较困难，所以双层叠绕组在单相异步电动机较少采用。

3.同心式绕组

采用同心式绕组时，每个极相组内的各个线圈采用不同的节距，这些线圈是按同一条中心线绕制成的，所以称为同心式绕组。同心式绕组的排列方法如图 3 — 2 —14所示。和单层叠绕组一样，同心式绕组每槽中的导线数相等，即各同心线圈具有相等的匝数。

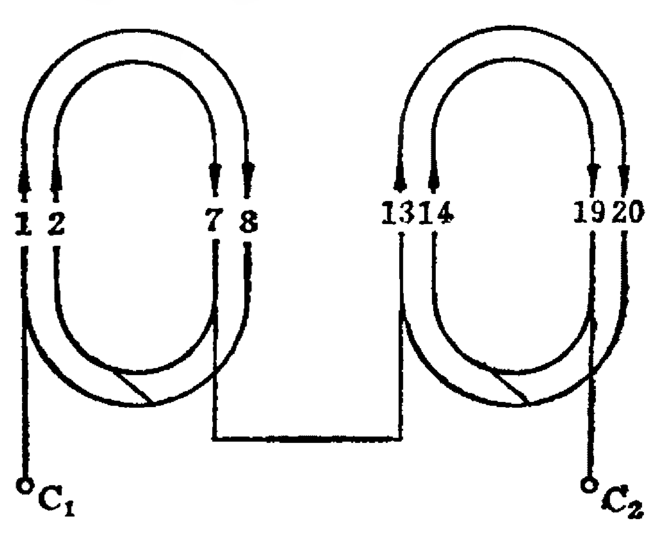


图 3 — 2 —14　同心式绕组示意图

一般说来，同心式绕组存在着端接部分较长、耗用导线较多、因而增加机身的总长、增大漏磁等缺点。但是由图 3 — 2 —14可见，同心式绕组的极相组排列分明清晰，接线不容易弄错。同时，单相异步电动机的功率较小，其定子铁芯内径也比较小，因此常采用单层同心式绕组。

分相电动机的单层同心式绕组接线图如图3—2—15所示。图中所示为一分相电动机，定子槽数为24槽，4 极，主绕组（以黑实线表示）占电动机定子总槽数的三分之二，即16槽；副绕组（以虚线表示）占电动机定子总槽数的三分之一，即 8 槽。

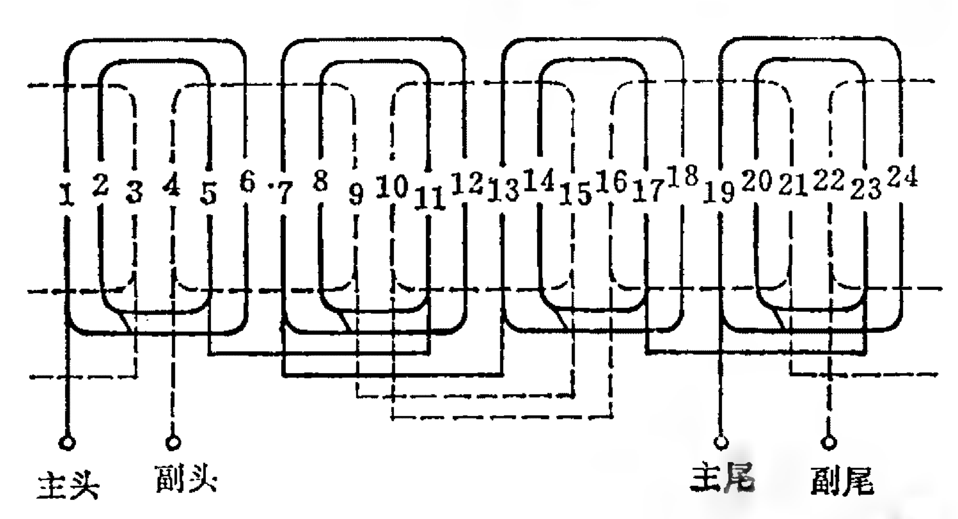


图 3 —2 —15　分相电动机单层同心式绕组接线图　24槽4极

4. 正弦绕组

（1）正弦绕组的结构　为了改善电动机的性能，单相电动机较为普遍地采用正弦绕组。正弦绕组是一种高精度的特殊绕组。它不仅嵌线、修理比双层绕组简单，更主要的是这种绕组能显著地消除各次高次谐波、降低杂散损耗和电磁噪音、提高效率、改善起动性能，从而使电动机具有良好的运行特性。因此，正弦绕组现在已普及于一般用途的单相异步电动机。

所谓正弦绕组，就是在定子铁芯槽中的导体数按照一定规律分布，同一极下各槽的导体数不相等，从而使电动机的气隙磁势分布接近于正弦波形，因此，这种绕组被称为正弦绕组。

从线圈的形状来看，正弦绕组与同心式单层绕组相似。因为单层和双层叠绕组满足不了正弦绕组的要求，不能用来制造正弦绕组，因此，从某种意义上讲，正弦绕组也是同心绕组的

一种。

采用正弦绕组后，单相异步电动机的主绕组和副绕组所占定子槽数就不是2比1，而是接近相等。嵌线时，将主绕组和副绕组的导体按不同的数量分布在定子各槽中，如图3—2—16所示。图中绘出了以百分数（将主绕组槽内导体最多的数值作为100%）表示的各槽导体分布情况。同一槽内嵌有主、副绕组的两个线圈边，主绕组的线圈边放置在槽的下面；副绕组的线圈边放置在槽的上面，上、下层之间垫入层间绝缘。这一点又与双层绕组相似。4极24槽单相电动机的正弦绕组展开图如图3—2—17所示。

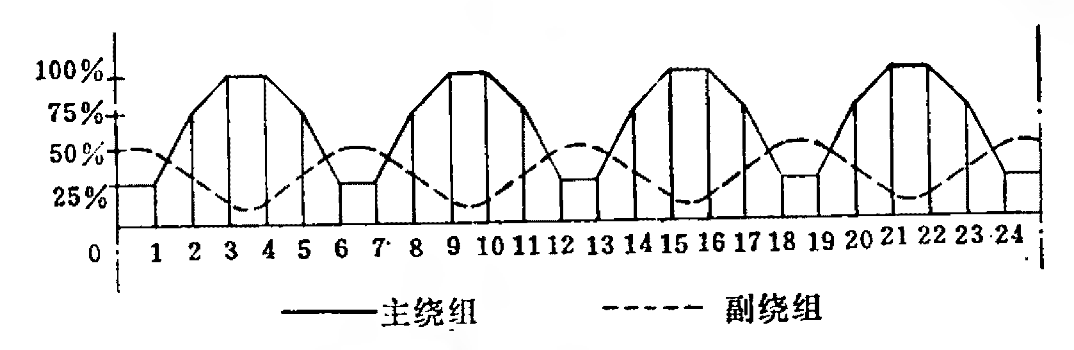


图3—2—16　4极24槽单相电动机正弦绕组各槽导线分布图

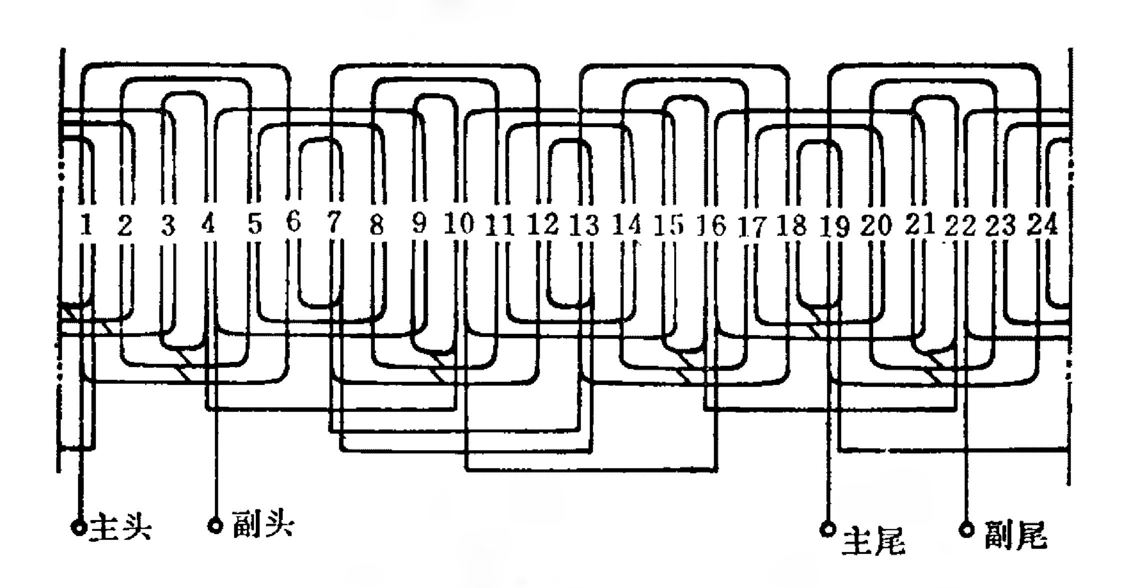


图3—2—17　4极24槽单相电动机正弦绕组展开图

当然，正弦绕组也有不足之处，主要是各线圈的匝数不同，使线圈绕制工艺复杂化，而且有些槽的槽满率较低，降低了铁芯的有效利用率。近年来，有些电机制造厂采用复式冲模，根据设计的要求适当改变某些槽容积的大小，以提高铁芯的有效利用率。

（2）正弦绕组各槽匝数的分配　上面讲过，在正弦绕组中，组成同一个极相组的各个同心线圈的匝数是不相等的，各个同心线圈的匝数分配可按下述方法计算：

①计算各同心线圈节距之半的正弦函数值：

$$\sin(m-n)=\sin\left(\frac{y_{(m-n)}}{2}\times\frac{\pi}{\tau}\right) \qquad (3-2-3)$$

式中：m和n分别为某一同心线圈的两个有效边所在定子槽的编号；

$y_{(m-n)}$——该同心线圈的节距（槽）；

π——每极电角度；

τ——极距（槽）；

$\frac{\pi}{\tau}$——槽距角（电角度）。

②每极内各个线圈节距之半正弦值的总和：

$$\Sigma\sin(m-n)=\sin(m_1-n_1)+\sin(m_2-n_2)+\cdots\cdots+\sin(m_k-n_k) \qquad (3-2-4)$$

③各个同心线圈占每极线圈的百分数：

$$\frac{\sin(m-n)}{\Sigma\sin(m-n)}\times 100\% \qquad (3-2-5)$$

④每一个同心线圈的匝数：

$$W_{m-n}=W_{\Sigma}\times\frac{\sin(m-n)}{\Sigma\sin(m-n)}(\text{匝}) \qquad (3-2-6)$$

式中：W_{Σ}——一个极相组内各同心线圈匝数的总和。

下面举例来说明单相异步电动机采用正弦绕组时，主绕组和副绕组的计算方法和绕组的布置情况。

〔例〕一台单相异步电动机，其定子铁芯槽数Q＝24槽，极数$2p=4$极，主绕组和副绕组按正弦绕组分布。试求该电动机主、副绕组的分布情况。

解　极距$\tau=\dfrac{Q}{2p}=\dfrac{24}{4}=6$槽，那么，正弦绕组可以按两种形状来布置：

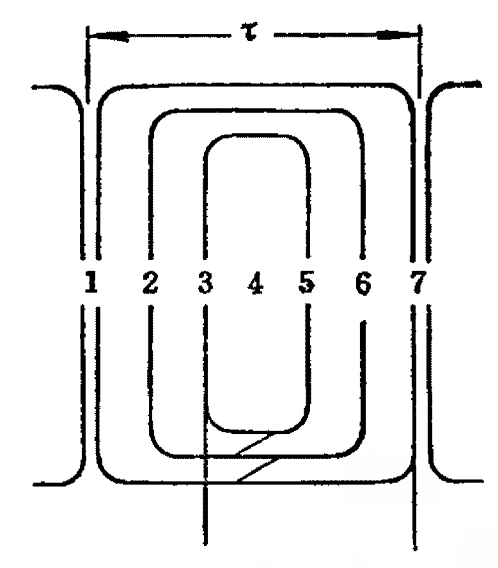


图3—2—18　4极24槽单相电动机正弦绕组

第一种布置方法：这种布置方法如图3—2—18所示，图中仅画出了一个极。同一极的各个同心线圈节距之半的正弦值：

线圈3—4节距之半的正弦值：

$$\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{1}{6}\times\pi\right)=\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{1}{6}\times180^{\circ}\right)$$
$$=\sin15^{\circ}=0.259$$

线圈2—5节距之半的正弦值：

$$\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{3}{6}\times\pi\right)=\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{3}{6}\times180^{\circ}\right)$$
$$=\sin45^{\circ}=0.707$$

线圈1—6节距之半的正弦值：

$$\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{5}{6}\times\pi\right)=\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{5}{6}\times180^{\circ}\right)$$
$$=\sin75^{\circ}=0.966$$

所以，一极内各个同心线圈节距之半的正弦值之和为：

$$0.259+0.707+0.966=1.932$$

各个同心线圈匝数占一个磁极内线圈总匝数的百分比：

线圈3—4： $\frac{0.259}{1.932}=13.4\%$

线圈2—5： $\frac{0.707}{1.932}=36.6\%$

线圈1—6： $\frac{0.966}{1.932}=50\%$

由上述计算可以清楚地看出，正弦绕组是把每极线圈总匝数之值看作百分之百(100%)，根据各线圈节距之半的正弦值来计算各线圈的匝数应占每极总匝数的百分率。当给定主绕组的匝数后，则各同心线圈的匝数便可以计算出来。

用同样的方法可以计算出副绕组每极匝数的分配，只不过要求副绕组的中心线与主绕组的中心线错开90°电角度，如图3—2—19所示。图中仅绘出了一个极的情况。图（a）为主绕组分布情况，图（b）为副绕组分布情况。

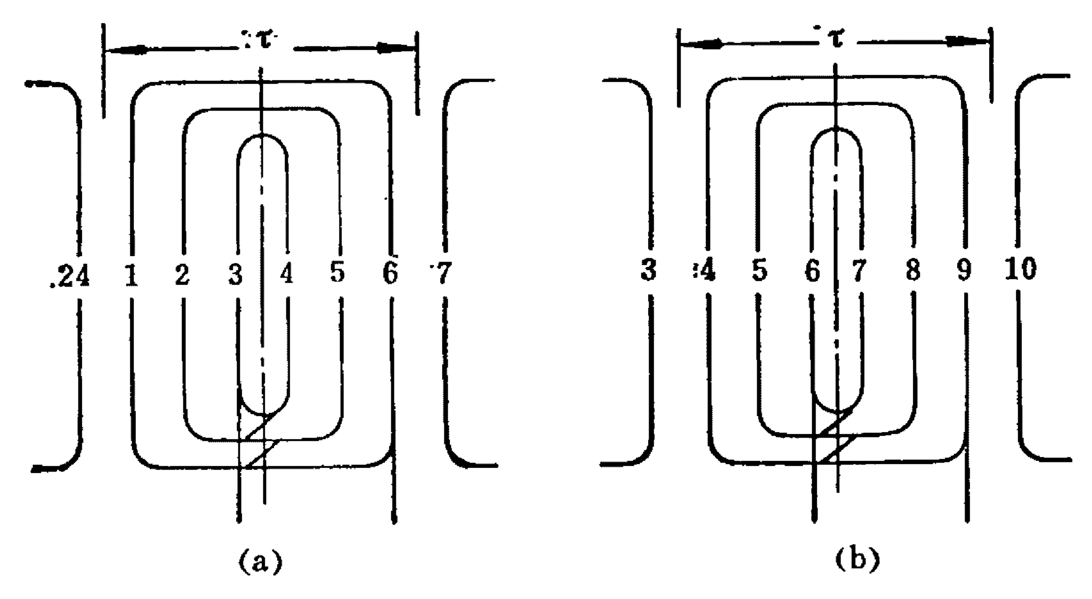


图3—2—19　4极24槽单相电动机正弦绕组分布图

分析主绕组一极内各线圈匝数的计算结果可以发现，图（a）中的中间两槽（即第3槽和第4槽）的线圈匝数所占百分率较低（仅占13.4%）。因此，通常将这两槽空出。这样，一则可以简化绕线工艺并提高槽满率；二则利用这两槽专供嵌置副绕组之用。这样一来，槽1和槽6仅嵌置主绕组而不嵌置副绕组。此时，每极便只有2—5槽和1—6槽两个同心线圈了，其总的正弦值为：0.707+0.966=1.673，各同心线圈匝数占每极线圈总匝数的百分率为：

2—5线圈：$\frac{0.707}{1.673}=42.3\%$

1—6线圈：$\frac{0.966}{1.673}=57.7\%$

这样调整之后，实践证明，对磁势的正弦波形影响不很大。

第二种布置方法：这种布置方法如图3—2—20所示，图中仅绘出了一个极的情况。

图3—2—20　4极24槽单相电动机正弦绕组

求出各同心线圈节距之半的正弦值：

3—5线圈：$\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{2}{6}\times\pi\right)=\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{2}{6}\times180^\circ\right)$

$=\sin30^\circ=0.5$

2—6线圈：$\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{4}{6}\times\pi\right)=\sin60^\circ=0.866$

1—7线圈节距之半正弦值的$\frac{1}{2}$：

$$\frac{1}{2}\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{6}{6}\times\pi\right)=\frac{1}{2}\sin90^\circ=0.5$$

这里应注意，线圈1—7只占计算值的一半，因为它的另一半匝数须放在相邻的极面下，如图3—2—20所示。

每极线圈正弦值之和为0.5+0.866+0.5=1.866。

各同心线圈所占每极总匝数的百分率为：

3—5线圈：$\frac{0.5}{1.866}=26.8\%$

2—6线圈：$\frac{0.866}{1.866}=46.2\%$

1—7线圈：$\frac{0.5}{1.866}=26.8\%$

在极距$\tau=6$槽的单相电动机中，其正弦绕组采用图3—2—20所示形状的布置比较恰当。当电动机定子内径不大时，上述三个同心线圈的匝数比可近似地取1∶2∶1的比例，以便采用束绕法绕制线圈，从而简化绕线工艺。下面举例说明这种布置方法：

〔例〕 有一台2极、18槽电容运转式电动机，拟用正弦绕组，试绘出其正弦绕组的布置图。

解 电动机极距$\tau=\frac{18}{2}=9$槽。其主绕组和副绕组的布置如图3—2—21所示。图（a）为主绕组布置图，图（b）为副绕组布置图，图中仅画出了一个极的情况。

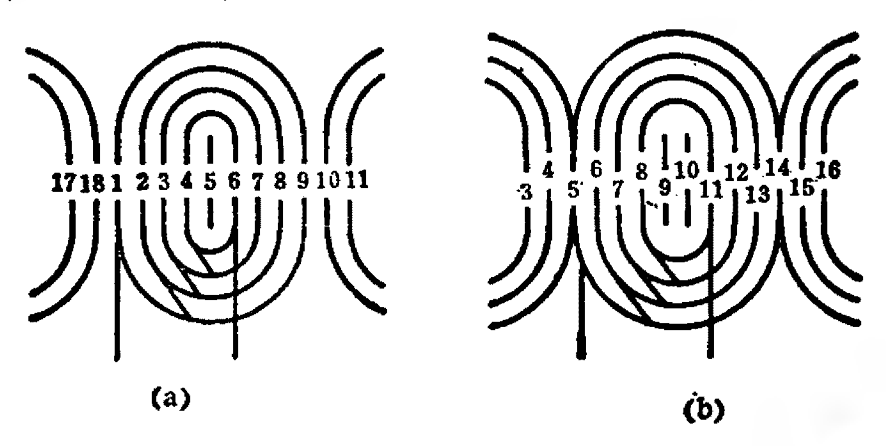


图3—2—21 2极18槽电容式电动机正弦绕组布置图

需要指出，由于主绕组的轴线（即中心线）在第5槽（即$(9+1)/2=5$，而副绕组的轴线应在与主绕组轴线相距90°电角度的位置，即相当于$4\frac{1}{2}$槽（因为槽距角$\alpha=360°/18=20°$电角度）。则副绕组的轴线应在$9\frac{1}{2}$槽（即$5+4\frac{1}{2}$）处。因此，我们将第5槽和第14槽中的副绕组线圈分为两部分，它们的线圈边从同一槽中出来后，其端部分别弯向不同的方向，且这两部分的匝数相等，均为该槽中副绕组匝数的二分之一，如图3—2—21（b）所示。各同心线圈的匝数占副绕组每极匝数的百分率如下：

线圈8—11占18.5%

线圈7—12占28.3%

线圈6—13占34.7%

线圈5—14占$\frac{1}{2}\times37\%=18.5\%$

各种类型的单相异步电动机的技术数据和正弦绕组数据及其排列方式，见附录五、附录六和附录七。

5.束绕线圈

对于匝数比为1:2:1，且导线直径小于0.74的正弦绕组，为简化绕线工艺，可采用束绕法绕制线圈。采用束绕法时，每一束线圈的长度必须足够放满一个极内所有的各个线圈槽。每一束线圈的长度，可以根据拆线时所测量的尺寸来确定；也可以采用图3—2—22（a）所示的方法，先取一根较粗的导线绕在铁芯槽内，圈与圈之间应留出适当的距离，以免线圈嵌入时太挤。然后将线的两端绞绕在一起，从槽内取下，弯成如图3—2—22（b）所示的长方形。然后按照这个长方形的形状和大

小，用4根钉子钉在木板上，如图3—2—23所示。其匝数为一极总匝数的四分之一。

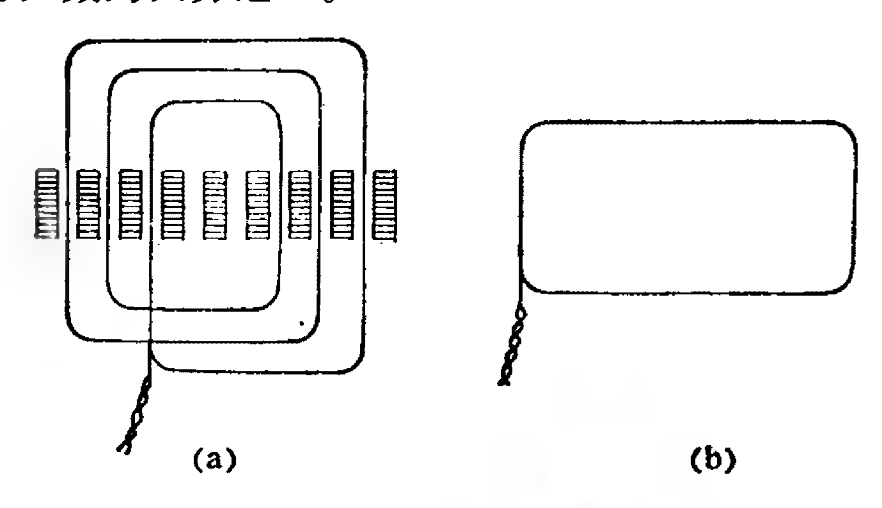


图3—2—22　每束绕圈长度的确定方法示意图

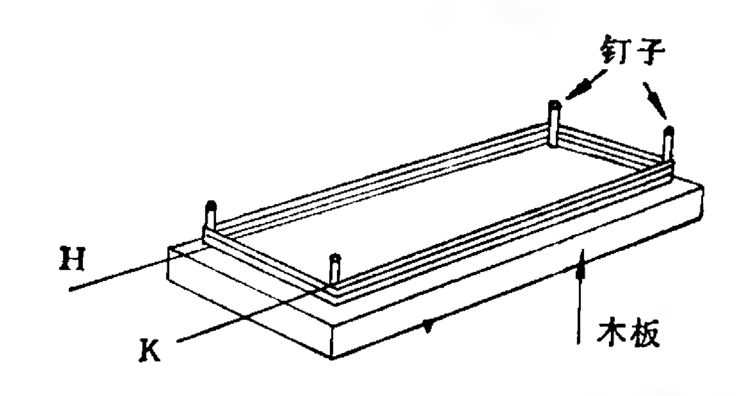


图3—2—23　在木板上先绕一束线圈

取下束绕线圈，先嵌入节距最小的两槽内，再将线束绞扭，由内至外。在落线时，应注意将线圈两端随时拉紧，使其紧贴铁芯（先垫好槽绝缘），再行绞扭，每次绞扭的方向，应与上次绞扭的方向相反。否则，如果向某一个方向绞扭过多，将产生纠结现象，同时还将造成绕制后半部分时的困难。

束绕线圈的绕制步骤如图3—2—24所示，嵌好一束后，折复槽绝缘，打好槽楔，垫好端部绝缘，并整理好线圈端部形状。然后再继续绕制第二束线圈。

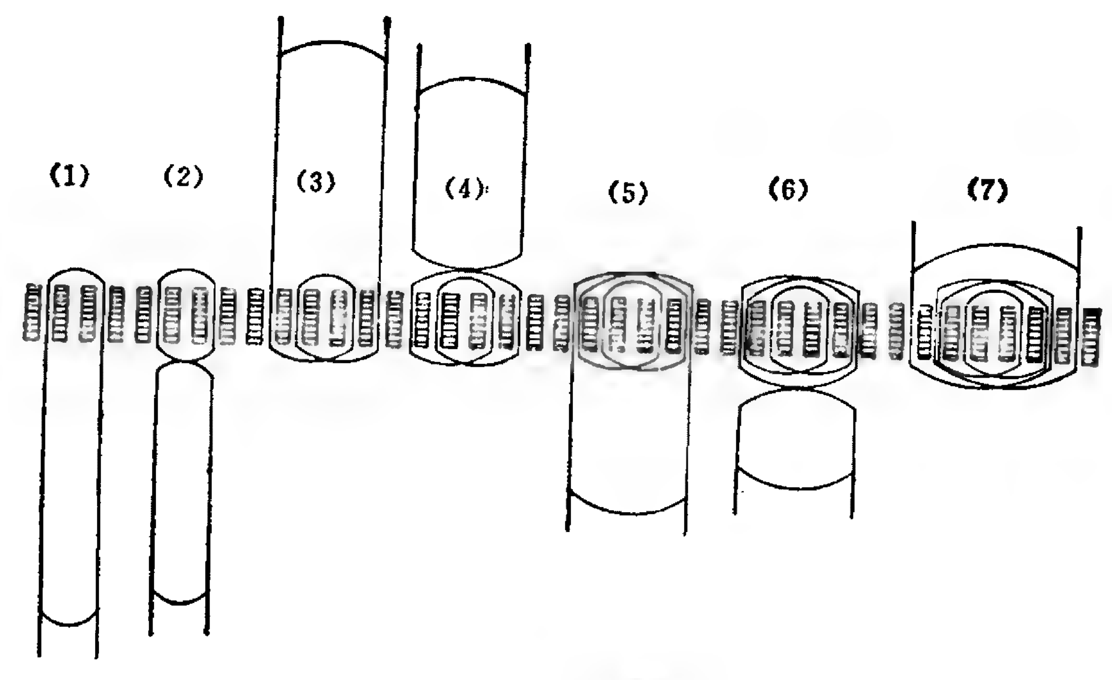


图3—2—24 束绕线圈的绞扭步骤

在分相电动机中，副绕组导线较细，且嵌放在主绕组之上，因此用束绕法绕制要简便得多。在绞扭时，只不过是没有图3—2—24中的（5）和（6）两个步骤，这是因为分相电动机的副绕组在每个槽内的匝数相等，而不象正弦绕组中有1:2:1的匝数比，即在绕制过程中没有重叠线圈。

第三节 单相异步电动机绕组的重绕计算

单相异步电动机绕组的设计计算，在理论分析上和经验积累方面，都不如三相异步电动机那么完善，计算结果的准确程度也比较差，即使是电机制造厂，对所设计的单相异步电动机也要经过试验和修改之后，才能得到比较满意的结果。所以，在修理单相异步电动机时，应依照原来绕组的型式和数据进行重绕修复，没有特殊情况，不要轻易更改原来的数据。

如果发现原来绕组在运行中有很明显的缺点（这种情况多

半是几经修理而造成的），或者是原来绕组的数据无从查考，或者是由于某种需要，必须重新设计计算绕组数据。下面介绍单相异步电动机绕组重绕计算的方法：

一、主绕组的计算：

主绕组串联匝数

$$W_c = \frac{K_E U_H \times 10^8}{4.44 f \phi K_{dp}}$$

$$= \frac{K_E U_H \times 10^8}{4.44 \alpha \tau l B_g f K_{dp}} \text{（匝）} \qquad (3—3—1)$$

式中：U_H——电动机的额定电压（伏）。

K_E——压降系数，它是电动机感应电势与额定电压的比值，其值一般在0.7～0.95之间。功率小、极数多的单相异步电动机应取小值，例如功率为30瓦的单相异步电动机取$K_E = 0.8$；180瓦的单相异步电动机可取$K_E = 0.92$。

α——有效极弧系数，即空气隙磁通密度的平均值与最大值之比。α值通常在0.6～0.73之间，一般估计时可取$\alpha = 0.67$。

l——铁芯的有效长度(厘米)。

B_g——电动机气隙磁通密度(高斯)

$2p = 2$时，一般取$B_g = 3500$～5000高斯

$2p = 4$时，一般取$B_g = 5000$～6500高斯

对低噪音、小功率单相异步电动机，B_g取小值；要求运行特别安静的电动机，B_g应比一般电动机减少20%左右。

K_{dp}——基波绕组系数

单层整距绕组，取$K_{dp} = 0.9$

正弦绕组，取$K_{dp} = 0.78$

集中式绕组，取$K_{dp}=1$。

τ——电动机绕组的极距

$$\tau=\frac{\pi D_i}{2p}$$

式中：D_i——电动机定子内径（厘米）；

p——电动机的极对数。

上述各数据确定之后，便可以运用公式（3—3—1）计算出电动机的主绕组匝数W_c。

需要指出，对于无铭牌的单相异步电动机，其极对数p是无从查考的，此时，只能根据负载对转速的要求，或先假设某一极对数来进行计算，待计算出主绕组匝数W_c之后，应进行定子铁芯轭部和齿部磁通密度的验算，看所假设的极对数是否符合铁芯的要求。

铁芯轭部磁通密度可用近似公式来计算：

$$B_c\approx\frac{10^8}{2h_c lKW_c}\text{（高斯）}$$

式中 h_c——轭高；

K——铁芯叠片系数，一般可取0.90～0.94。

铁芯齿部磁通密度可用近似公式计算：

$$B_t\approx\frac{1.57\times10^8}{S_tW_c}\text{（高斯）}$$

式中：S_t——每极下齿的断面积

$$S_t=\frac{Q_1 l b_T K}{2P}\text{（厘米}^2\text{）}$$

此处，Q_1为定子槽数，b_T为齿宽，可测量定子铁芯得到。

由此计算出的铁芯轭部磁通密度B_c和齿部磁通密度B_t之值，与表3—3—1中所列数值对照一下，看是否在允许磁密范围

之内。如果计算值比表中所列范围大很多，则说明所假设的磁极对数不正确，这就需要重新假定磁极对数再进行计算。若是计算值比表中所列范围大得不多，则在计算中，适当降低所取的气隙最大磁通密度值B_g，从而提高主绕组匝数W_c的计算值，以降低铁芯轭部磁密和齿部磁密，直至降到表3—3—1中所列范围为止。

表3—3—1 小容量单相异步电动机的允许磁密范围

磁密名称 / 电动机极数	定子轭部磁密（高斯）	定子齿部磁密（高斯）
2	11,000～14,000	13,000～17,000
4，6	10,000～13,000	13,000～17,000

主绕组是决定电动机运行特性的主要因素。主绕组匝数W_c通过一次计算往往不一定能恰到好处，若是主绕组匝数W_c取得较大，则单相电动机的空载电流将会减小，从而改善了单相电动机的功率因数。然而，由于电动机的漏电抗与绕组匝数的平方成正比，因此，主绕组匝数增大时，电动机的漏电抗增大，这就使得电动机的最大转矩下降。反之，若主绕组匝数取得较小时，则电动机的空载电流将增大，功率因数下降，电动机的最大转矩也将相应增大。因此，在修理单相电动机时，可根据运行性能的要求，对主绕组匝数作适当调整。

二、副绕组串联匝数W_A的确定

副绕组串联匝数W_A的选择，很大程度上决定了单相电动机的起动性能。副绕组的型式，一般和主绕组相似。但是副绕组串联匝数的计算比较复杂，一般可以用下面的方法进行估算：

1.对于采用正弦绕组的电阻分相电动机(如JZ、BO型等)

$$W_A = (0.5 \sim 0.6) W_c \qquad (3—3—2)$$

2.对于起动后切除副绕组的分相电动机和采用正弦绕组的电容分相电动机(如JY、CO型等)

$$W_A = (0.5 \sim 0.7) W_c \qquad (3—3—3)$$

3.对于采用正弦绕组的电容运行式电动机（如JX、DO型等）

$$W_A = (1 \sim 1.3) W_c \qquad (3—3—4)$$

4.对于采用单层同心式绕组的分相电动机，副绕组只占定子槽数的三分之一，若无特殊要求，则可取：

$$W_A = W_c \qquad (3—3—5)$$

重绕后的单相异步电动机，若起动性能达不到要求时，可对副绕组的匝数进行适当地调整。

在分相电动机中，若起动转矩过小，则可适当地减少副绕组的匝数；若起动电流过大，则可适当增加副绕组匝数或增大副绕组回路的电阻。

在电容起动或电容运行电动机中，若起动转矩过小，一般可增加副绕组匝数或增加电容器的电容量；若起动电流过大，则可增加副绕组的匝数并同时减少电容器的电容量。若电容器的端电压过高，则应增加电容器的电容量或增加副绕组回路的电阻。

三、绕组导线尺寸的确定

单相异步电动机绕组导线的截面积可根据定子铁芯槽形尺寸大小和每槽导线数来确定。主绕组的导线截面一般比副绕组的导线截面大。因此，应当根据主绕组来确定槽满率。

1.槽的有效截面积：

$$S_э = S_n - S_{uz}(毫米)^2 \qquad (3—3—6)$$

式中：S_n——槽的实际截面积(毫米²)；

S_{uz}——槽绝缘所占面积(毫米²)。

单相异步电动机一般都采用圆底的梨形槽和梯形槽，如图3—3—1所示。槽形尺寸要在线圈拆除后才能量测。量测的方法是用一张较厚的白纸按在定子槽上，然后用手指着力在纸上向槽口按一下，取下白纸，则白纸上印出了槽形轮廓，再用绘图分规逐项量出槽形尺寸，如图3—3—1所示。图(a)为梨形槽；图(b)为梯形槽。

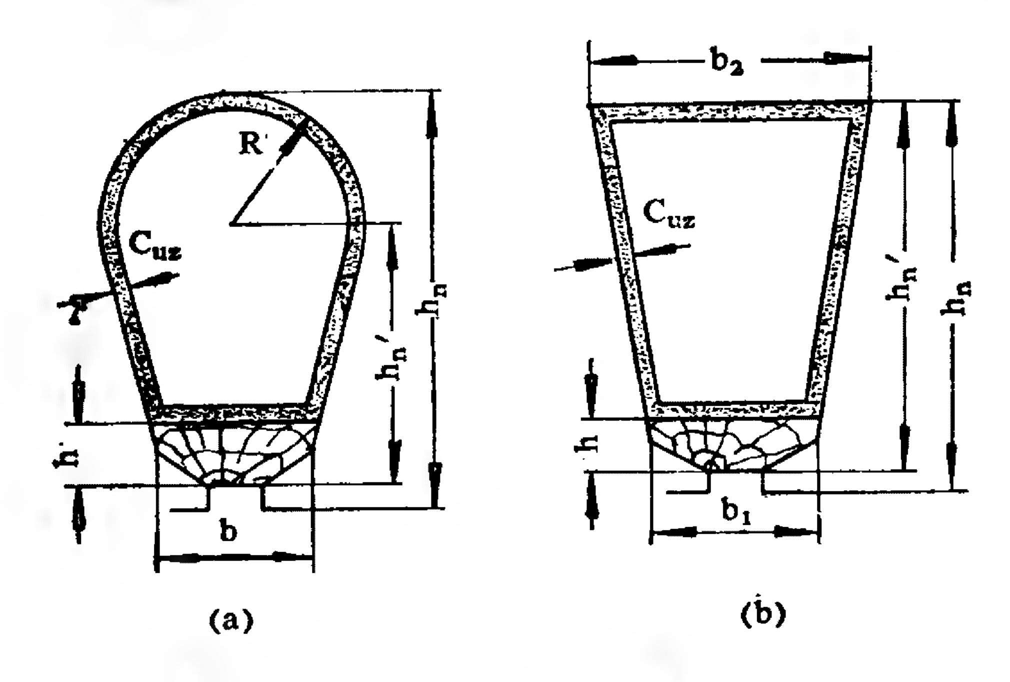


图3—3—1　单相电动机定子槽形尺寸图

梨形槽槽楔下的槽面积S_n为：

$$S_n=\frac{2R+b}{2}(h'_n-h)+\frac{\pi R^2}{2}\ (\text{毫米}^2) \qquad (3—3—7)$$

梯形槽槽楔下的槽面积S_n为：

$$S_n=\frac{b_1+b_2}{2}(h'_n-h)(\text{毫米}^2) \qquad (3—3—8)$$

槽绝缘的厚度 C_{uz} 按电机的工作电压和绝缘等级来选择。

单层绕组中，槽绝缘所占面积：

梨形槽

$$S_{uz}=C_{uz}[\pi R+2(h'_n-h)+b](\text{毫米}^2) \qquad (3-3-9)$$

梯形槽

$$S_{uz}=C_{uz}[2(h'_n-h)+b_1+b_2](\text{毫米}^2) \qquad (3-3-10)$$

双层绕组中，要考虑层间绝缘，所以其槽绝缘所占面积为：

梨形槽

$$S_{uz}=C_{uz}[\pi R+2(h'-h)+b+2R](\text{毫米}^2) \qquad (3-3-11)$$

梯形槽

$$S_{uz}=C_{uz}[2(h'_n-h)+b_1+2b_2](\text{毫米}^2) \qquad (3-3-12)$$

2. 每槽导线数N_c

根据单相异步电动机的不同类型，首先确定主绕组应占定子槽数的比例，即占定子总槽数的二分之一或三分之一。因为主绕组串联匝数每匝包含两根导线边，因此，每槽导线数为：

$$N_c=\frac{2W_c a}{Q_c} \qquad (3-3-13)$$

式中：W_c——主绕组串联匝数；

a——主绕组并联支路数；

Q_c——主绕组所占定子槽数。

3. 导线直径的确定：

由于单相异步电动机一般容量都很小，定子内径也小，嵌线不方便，所以其槽满率不要取得太高，一般不超过0.75，这样导线的外径（带绝缘）为：

$$d_o=\sqrt{\frac{0.75S_э}{N_c}} \qquad (3-3-14)$$

式中：$S_э$——铁芯槽的有效截面积（毫米²），其计算方法见式(3—3—6)。

根据导线绝缘外径d_o及所选用的绝缘导线型号，即可查表3—3—2找出导线的直径d。

对于采用正弦绕组的单相异步电动机，每槽导线数N_c应取主绕组导线数最多的那一槽进行计算。若这个槽中同时嵌有副绕组，则在计算铁芯槽的有效截面积$S_э$时，应减去副绕组所占面积。由于副绕组此时尚未计算，因此只能先对副绕组所占槽面积进行估算，待计算完毕后再进行校核调整。

若是电动机的额定电流值I_H已知时，则可直接计算出主绕组导线所需截面积：

$$S_c = \frac{I_H}{aj}(毫米^2) \qquad (3—3—15)$$

式中：a——主绕组并联支路数；

j——主绕组电流密度，一般可取$j=4\sim7$安/毫米^2，容量小的电动机取大值。

根据式(3—3—15)所计算出来的导线截面积S_c，可查表3—3—2找到合适的导线直径d_o，然后用式(3—3—14)进行校验。

副绕组导线的截面积，对于起动之后就退出运行的副绕组，则可按照起动电流来选择其导线截面。由于该绕组是短暂通电，所以其电流密度可为主绕组电流密度的2～4倍。对于电容运转式电动机，由于副绕组处于长期运行状态，所以副绕组导线截面积与主绕组导线截面积之比等于主绕组串联匝数与副绕组串联匝数之比，即

$$\frac{S_A}{S_c} = \frac{W_c}{W_A} \qquad (3—3—16)$$

式中：S_A——副绕组导线截面积(毫米^2)；

S_c——主绕组导线截面积(毫米^2)；

W_c——主绕组串联匝数；

W_A——副绕组串联匝数。

需要指出，槽满率过高将会造成嵌线的困难，在嵌线时容易造成绝缘的损坏。修理电动机时，若发现槽满率过高，则可以通过下列措施来降低其槽满率：

(1) 在保证绝缘强度的前提下，减薄槽绝缘厚度，例如将漆布改为聚脂薄膜，将竹槽楔改为较薄的胶木槽楔。

(2) 改变导线品种，例如将双玻璃丝包线改为高强度漆包线，以减少导线的绝缘外径。

(3) 如果上述方法仍不能解决问题，那就只好减小导线截面积。然而，导线截面积的减小，必将导致电动机额定容量的降低。此时，电动机修理后的试运行阶段，必须注意电动机绕组的温升。

电磁线的牌号及主要用途见附录十一，漆包圆铜线常用数据见附录十二，中国线规与近似英规对照表见附录十三。

为了进一步阐明单相异步电动机绕组的重绕计算问题，下面举列加以说明：

〔例一〕一台分相电动机，额定电压为220伏，其定子内径 $D_i = 57$ 毫米，定子外径 $D_a = 110$ 毫米，铁芯长度 $L = 80$ 毫米，定子槽数 $Q = 24$，极数 $2p = 2$，电动机定子槽为梯形槽，槽形尺寸如图3—3—2所示，试计算该电动机单叠绕组数据。

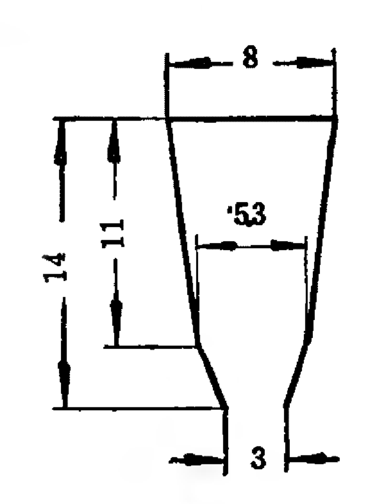


图3—3—2 槽形尺寸图

〔解〕主绕组计算：

由式(3—3—1)

$$W_c = \frac{K_E U_H \times 10^8}{4.44 \alpha \tau l B_g f k_{dp}}$$

式中：$K_E=0.82$，$l=8$厘米，$B_g=4500$高斯

$\alpha=0.64$　$f=50$赫芝，$K_{dp}=0.9$，

$$\tau=\frac{\pi D_i}{2p}=\frac{3.14\times5.7}{2}=8.949(\text{厘米})。$$

$$\text{所以}W_c=\frac{0.82\times220\times10^8}{4.44\times0.64\times8.949\times8\times4500\times50\times0.9}$$

$=440$匝

主绕组导线截面计算：

由式(3—3—6)可知，定子槽的有效截面积$S_э=S_n-S_{uz}$，由式(3—3—8)有：

$$S_n=\frac{b_1+b_2}{2}(h'_n-h)=\frac{5.3+8}{2}\times11$$

$$=73.15(\text{毫米}^2)$$

若槽绝缘采用0.2毫米厚的青壳纸聚脂薄膜复合，则由式(3—3—10)求出槽绝缘所占面积：

$$S_{uz}=C_{uz}[2(h'_n-h)+b_1+b_2]$$

$$=0.2[2\times11+8+5.3]=7.06(\text{毫米}^2)$$

$\therefore S_э=S_n-S_{uz}=73.15-7.06=66.09(\text{毫米}^2)$

主绕组每槽导线数N_c由式(3—3—13)求得：

$$N_c=\frac{2W_ca}{Q_c}=\frac{2\times440\times1}{16}=55$$

导线绝缘外径d_o根据式(3—3—14)求得：

$$d_o=\sqrt{\frac{0.75\times S_э}{N_c}}=\sqrt{\frac{0.75\times66}{55}}=0.95(\text{毫米})$$

查附录十，选用高强度聚酯漆包圆铜线QZ—φ0.86，导线截面积为0.581毫米^2。

副绕组匝数计算：

$W_A = 0.5W_c = 0.5 \times 440 = 220$(匝)

副绕组导线截面积计算:

$$S_A = \frac{1}{4}S_c = \frac{1}{4} \times 0.581 = 0.1452(\text{毫米}^2)$$

查附录十，选用高强度聚酯漆包线QZ—ϕ0.44，$S_A = 0.1521$毫米^2。

副绕组每槽导体数N_A:

$$N_A = \frac{2 \times 220 \times 1}{8} = 55$$

该分相电动机单层叠绕组展开图参见图3—2—9、图3—2—10和图3—2—11。

〔例二〕有一台采用正弦绕组的分相电动机，其额定电压$U_H = 220$伏，定子铁芯内径$D_i = 72$毫米，铁芯长度$l = 48$毫米，定子槽数$Q = 24$槽，极数$2p = 4$，试计算该电动机正弦绕组数据。

解　电动机每极槽数

$$\tau = \frac{Q}{2p} = \frac{24}{4} = 6(\text{槽/极})$$

设正弦绕组布置成图3—2—20所示形状。

主绕组串联匝数的计算

$$\tau = \frac{\pi D_i}{2p} = \frac{3.14 \times 7.2}{4} = 5.65(\text{厘米})$$

由式(3—3—1)求主绕组串联匝数W_c，式中$K_E = 0.8$，$B_g = 5500$高斯，$\alpha = 0.67$，$K_{dp} = 0.78$

$$\therefore W_c = \frac{0.8 \times 220 \times 10^8}{4.44 \times 0.67 \times 5.65 \times 4.8 \times 5500 \times 50 \times 0.78}$$

$$= 1000(\text{匝})$$

副绕组匝数的确定:

$$W_A = 0.5W_c = 0.5 \times 1000 = 500(\text{匝})$$

正弦绕组匝数的分布

主绕组每极匝数：

$$W_{cp} = \frac{W_c}{2p} = \frac{1000}{4} = 250(\text{匝})$$

照图3—2—20计算每槽主绕组匝数：

线圈1—7匝数 = 250 × 26.8% = 67(匝)

线圈2—6匝数 = 250 × 46.4% = 116(匝)

线圈3—5匝数 = 250 × 26.8% = 67(匝)

主绕组的匝数分布如图3—3—3(a)所示。副绕组的匝数分布如图3—3—3(b)所示，两个绕组的中心线相差三个槽距，即90°电角度。

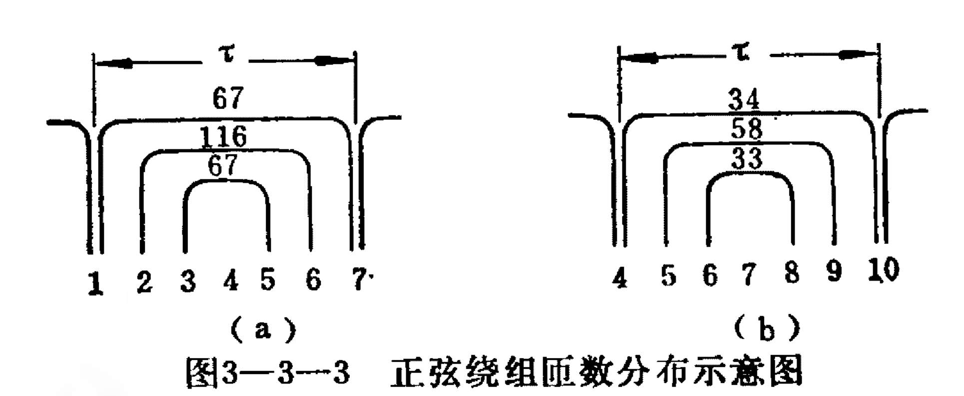


图3—3—3　正弦绕组匝数分布示意图

导线截面积的确定

由图3—3—3可见：

第 1 槽匝数为2 × 67 = 134(匝)

第 6 槽匝数为116 + 33 = 149(匝)

第 5 槽匝数为67 + 58 = 125(匝)

由上述数值可以看出，虽然第 6 槽的总匝数为最多，第 1 槽匝数比第 6 槽少15匝，但第 6 槽中含有33匝副绕组，而副绕组导线的截面积仅为主绕组导线截面积的1/2～1/4，第 1 槽中全部为主绕组。所以，第 1 槽的槽满率为最高。这样一来，在

确定主绕组导线尺寸时，应以第1槽的情形来进行计算。

该电动机的槽形尺寸如图3—3—4所示。槽楔下面积：

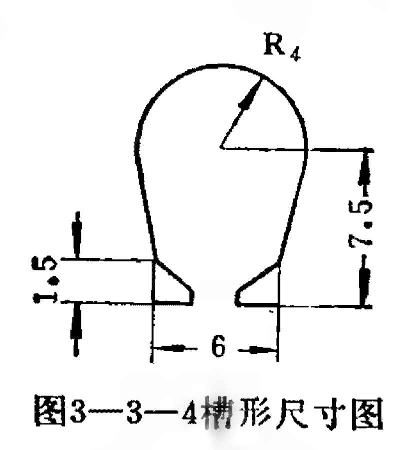


图3—3—4槽形尺寸图

$$S_n = \left(\frac{8+6}{2}\right) \times (7.5-1.5) + \frac{\pi}{2} \times 4^2 = 67.12(\text{毫米}^2)$$

槽绝缘和层间绝缘采用0.2毫米厚的青壳纸聚酯薄膜复合绝缘，其槽内绝缘材料所占面积由公式(3—3—11)求得：

$S_{uz} = 0.2(4\pi + 2\times 6 + 6 + 2\times 8) = 9.31(\text{毫米}^2)$

所以槽的有效面积为

$$S_{\text{a}} = S_n - S_{uz} = 67.12 - 9.31 = 57.81(\text{毫米}^2)$$

由式(3—3—14)求出主绕组导线直径

$$d_o = \sqrt{\frac{0.75\times 57.81}{134}} = 0.57(\text{毫米})$$

查附录十，选取高强度聚酯漆包圆铜线QZ—ϕ0.51，其绝缘外径为ϕ0.58，导线截面积为0.204毫米²。

副绕组导线选用QZ—ϕ0.27，其绝缘外径为ϕ0.32，截面积为0.0573毫米²。

〔例三〕 有一台旧式16吋罩极台风扇，使用电压为210伏，轴输出功率为20瓦，定子内径$D_i = 50.8$毫米，定子外径$D_a = 108.8$毫米，铁芯长度$l = 32$毫米，极数$2p = 4$，定子槽数$Q = 24$槽，

试计算该电动机绕组每极匝数和导线直径。

解　电动机极距

$$\tau=\frac{\pi D_i}{2p}=\frac{3.14\times5.08}{4}=4(\text{厘米})$$

取$B_g=5500$高斯，$\alpha=0.65$，$K_{dp}=1$，$K_E=0.84$所以绕组总串联匝数由公式(3—3—1)求得：

$$W=\frac{0.84\times210\times10^8}{4.44\times50\times4\times3.2\times0.65\times5500\times1}$$

$$=1736(\text{匝})$$

每极匝数

$$W_p=\frac{1736}{4}=434(\text{匝})$$

导线截面积计算：

$$S=\frac{I}{j}(\text{毫米}^2)$$

式中：j ——电流密度，一般取4～7安/毫米^2；

　　I ——电动机额定电流(安)。

$$I=\frac{P}{U_H\eta\cos\varphi}$$

由图3--3—5查得$\eta\cos\varphi=0.155$。

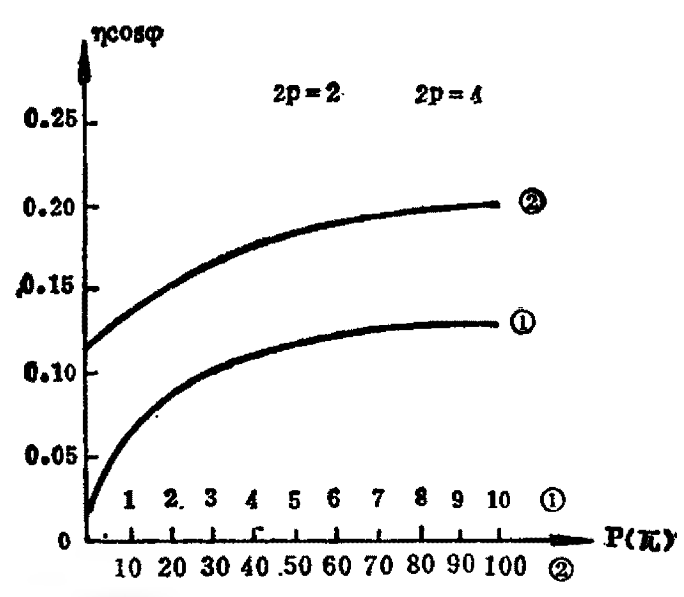


图3—3—5罩极电动机$\eta\cos\varphi$与P的关系曲线

$$\therefore I=\frac{20}{210\times0.155}=0.615(\text{安})$$

导线截面积$S=\frac{0.615}{6}=0.103$(毫米²)。

查附录十，选取高强度聚酯漆包圆铜线QZ—ф0.38，其截面积为0.1134毫米²。

〔例四〕 一台电容起动式电动机，定子外径$D_a=120$毫米，内径$D_1=71$毫米，铁芯长度$l=62$毫米，定子槽数$Q=24$，极数$2p=4$，额定电压为220伏。试计算该电动机正弦绕组各同心线圈匝数。

解 1.主绕组计算：

由公式(3—3—1)得

$$W_c=\frac{K_EU_H\times10^8}{4.44\alpha\tau lB_gfk_{dp}}(\text{匝})$$

式中：$K_E=0.8$，$U_H=220$伏，$\alpha=0.7$，

$B_g=6000$高斯，$K_{dp}=0.78$，

$$\tau=\frac{\pi D_i}{2p}=\frac{3.14\times7.1}{4}=5.87(\text{厘米})$$

$$\therefore W_c=\frac{0.8\times220\times10^8}{4.44\times0.7\times5.87\times6.2\times6000\times50\times0.78}$$
$$=700(\text{匝})$$

$$\text{每极匝数}W_p=\frac{700}{4}=175(\text{匝})$$

2.绕组匝数的分布

(1) 计算各同心线圈节距之半的正弦值：

主绕组采用如图3—3—6中实线所示的布置方式。每极由3—5、2—6、1—7三个同心线圈组成。各同心线圈节距之半的正弦值为（计算过程详见本书第三章第二节）：

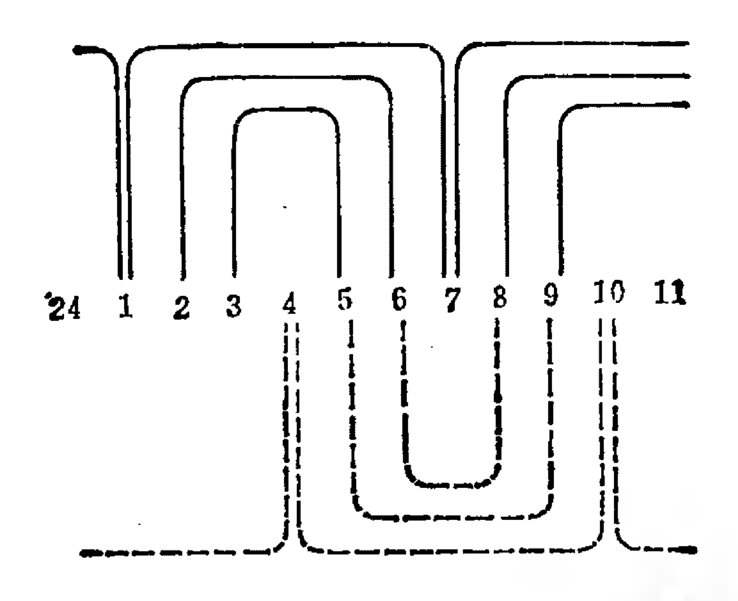


图3—3—6主绕组和副绕组的正弦布置

线圈1—7 $\frac{1}{2}\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{6}{6}\times\pi\right)=0.5$

线圈2—6 $\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{4}{6}\times\pi\right)=0.866$

线圈3—5 $\sin\left(\frac{1}{2}\times\frac{2}{6}\times\pi\right)=0.5$

（2）总正弦值为

$0.5+0.866+0.5=1.866$

（3）各同心线圈占每极线圈匝数的百分比为

线圈1—7占26.8%

线圈2—6占46.4%

线圈3—5占26.8%

（4）各同心线圈匝数为

线圈1—7 $175\times0.268=47$(匝)

线圈2—6 $175\times0.464=81$(匝)

线圈3—5 $175\times0.268=47$(匝)

3.副绕组的计算

取副绕组匝数　$W_A = 0.65 \times 700 = 455$(匝)

$$各极匝数W_{Ap} = \frac{455}{4} = 114(匝)$$

副绕组采用与主绕组相同的布置方式，并使副绕组的中心线与主绕组的中心线相距90°电角度，即三个槽距。如图3—3—6中虚线所示。各同心线圈节距之半的正弦值及所占每极匝数的百分率与主绕组相同，各同心线圈的匝数为

线圈4—10　$114 \times 0.268 = 30$（匝）

线圈5—9　$114 \times 0.464 = 54$（匝）

线圈6—8　$114 \times 0.268 = 30$（匝）

第四节　单相异步电动机的调速

单相异步电动机的调速通常采用改变极数和改变转差率两种调速方法。

一、变极调速方法

单相异步电动机的转速 n 与同步转速n_1有如下关系：

$$n = (1 - s)n_1 \qquad (3—4—1)$$

式中：s ——单相异步电动机的转差率；

n_1——同步转速(转/分)。

又因为同步转速n_1与电动机极对数p有如下关系：

$$n_1 = \frac{60f}{p}\ (转/分) \qquad (3—4—2)$$

将公式(3—4—2) 代入公式(3—4—1) 则得到：

$$n = (1—s)\ \frac{60f}{p} \qquad (3—4—3)$$

式中：f ——电源频率，50赫兹；

p —— 电动机极对数。

由此可见，只要设法改变绕组的极对数 p，就可以改变单相异步电动机的转速 n，极对数 p 愈多，则电动机的转速愈低；p 愈少，则 n 愈高。

改变定子绕组极对数一般有以下三种方法：

1.定子槽内只嵌置单一绕组，改变其不同的接线方式，则可得到不同的极对数。

2.在定子槽内嵌置两套不同极对数的独立绕组，根据变速的要求，可选用其中一套合适的绕组。当要求变速时，则可选用另一套绕组。

3.在定子槽内嵌置两套不同极对数的独立绕组，而且每套绕组又可以有不同的接线组合，从而得到不同的极对数。

对于工厂电工来说，第一种方法最为简单实用，因为这种绕组绕法简单，出线头少，用铜也较省。所以单相异步电动机改极变速时，大多采用这种方法。

第三章第二节讲过，对于同一绕组，采用庶极连接法时比显极连接法的极对数多一倍，参见图 3-2-4、图 3-2-5、图 3-2-6 和图 3-2-7。

图 3-4-1 所示为庶极连接法双速分相电动机的原理接线图。图中 C_1、C_2、C_3、C_4 表示电动机主绕组；A_1 和 A_2 表

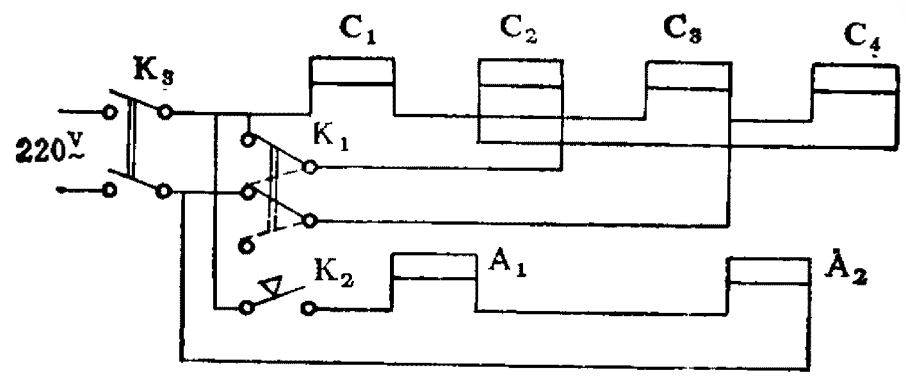


图 3-4-1 庶极接法双速分相电动机接线示意图

示电动机的副绕组。该电动机的两种转速比为2∶1。当转换开关K_1接在图中实线位置时，电流经过主绕组线圈后，相邻两极的方向各不相同，使电动机做四极运行。其磁极的排列如图3-4-2所示。

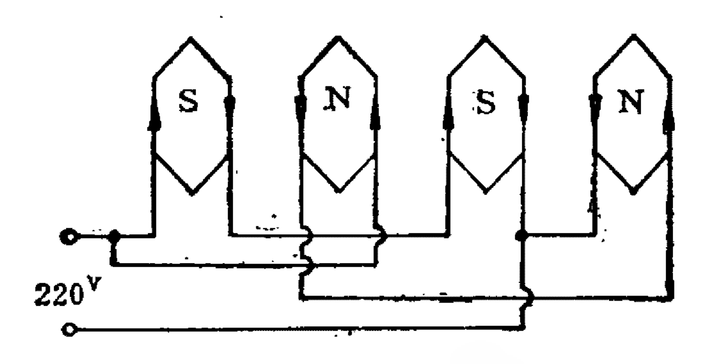


图3-4-2　四极运行接线时的原理图

若将转换开关K_1转换到虚线位置时，则主绕组的各极相组具有相同的极性，这样，两对磁极便由于庶极的作用而呈现出四对磁极，其原理接线图如图3-4-3所示。

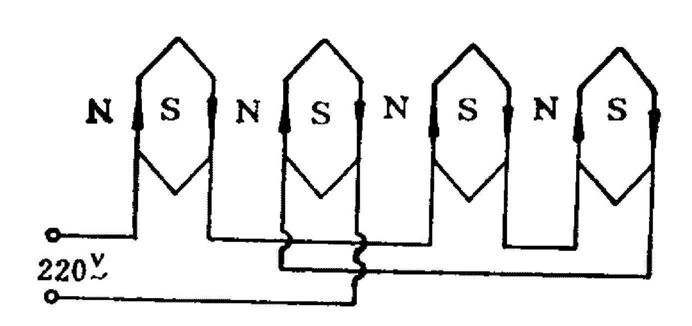


图3-4-3　八极运行接线原理图

需要指出，副绕组A_1和A_2在无论主绕组作何种接法时，都自始至终采用串联庶极连接法，它并不因主绕组的改接而改变其接法。副绕组A_1和A_2的接线法如图3-4-1所示。

如果要求电动机的两种转速之比不是2∶1（即非倍极比），则要用双主绕组来改变电动机磁极对数，以达到具有两种非倍极比的调速目的。

二、改变转差率调速

改变转差率调速的调节方式有好几种，但对单相异步电动机通常采用调压方式来进行调速。因为异步电动机在不同的定子电压下有不同的转矩-转差率曲线，亦即在不同的定子电压下有不同的转矩-转速曲线，如图3-4-4所示。因此，在相同的负载转矩下，调节定子电压可以得到不同的转速，即电动机分别稳定运行在图中曲线的 *a*、*b*、*c* 点上。单相异步电动机的调压变速方法，就是利用电动机的这种特性，通过自耦变压器、电抗器或附加绕组等来调节主绕组的电压以改变其转差率，从而实现转速调节的。

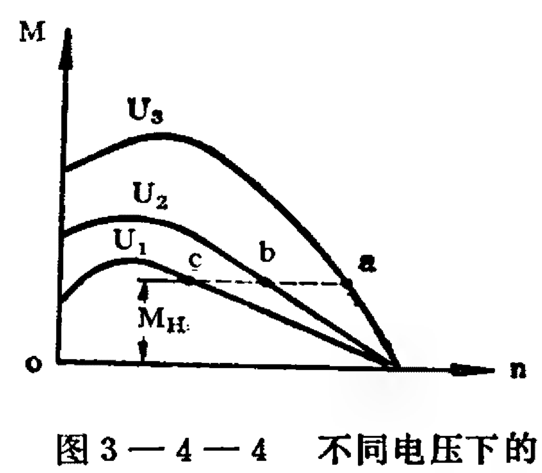


图3—4—4　不同电压下的 $M=f(n)$ 曲线

单相异步电动机的机械特性与三相异步电动机一样，在一定的电源频率下，其最大转矩M_m和外施电压的平方成正比（即$M_m \propto U^2$）。而产生最大转矩的转差率与外施电压无关。

下面以单相电容电动机为例来说明改变主绕组电压以调节电动机转速的方法。

如果负载的转矩-转速曲线对于电动机的转矩-转差曲线来说是固定形状的话，那么就能给出稳定的运行状况。单相电容电动机的机械特性与三相异步电动机一样，在一定的电源频率下，其最大转矩与外施电压的平方成正比。而发生最大转矩时的转差率与外施电压无关。在两种不同的电压下，单相电容电动机的两条典型转矩-转速曲线A和B 如图3-4-5所示。图中曲线A表示额定电压U_H下的转矩-转速曲线；曲线 B表示电

压为$\frac{1}{2}U_H$时的转矩-转速曲线。图中曲线C是用于鼓风机或台扇中螺旋桨式风叶的转矩-转速曲线。以电扇风叶为负载的单相电容电动机的稳定运行转速是在曲线C与曲线A和曲线B的交点处E或F。此时，低转速约为高转速的70%左右。因为运转电扇风叶所需功率随着转速的下降而减小，而这个减小的程度比电动机的输出功率随转速下降的程度要来得更快些，因此，在降低转速的情况下，运转电扇风叶不会使电动机过载而发热。

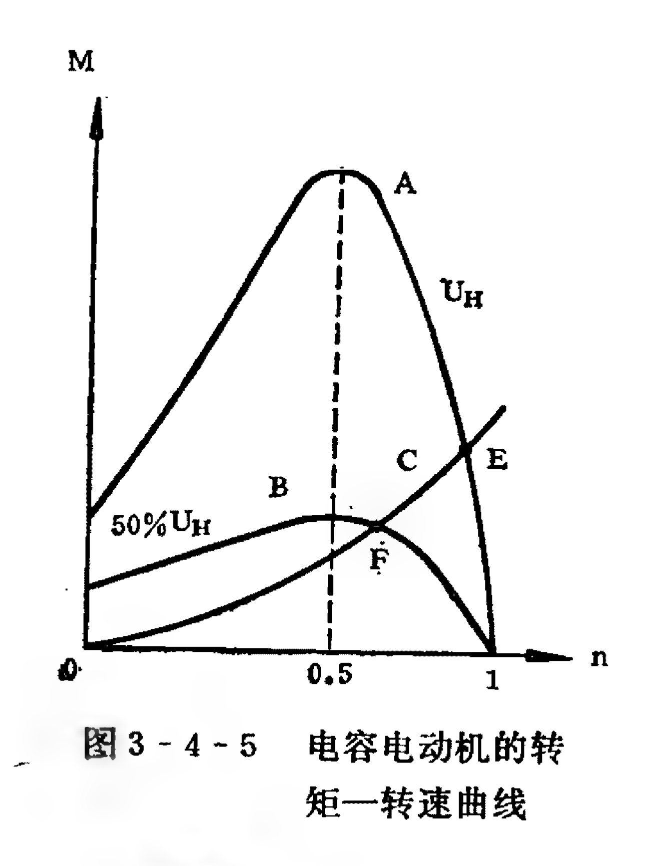


图3-4-5　电容电动机的转矩—转速曲线

综上所述，可见电容电动机转速的调节并不一定要改变它的极对数，只要改变加在电动机主绕组上的电压，藉以控制磁场强度、改变转差率，从而达到调速的目的。

通过改变主绕组电压来进行调速的方法又可以分为下述三种：

1.采用电抗器调压

电风扇的调速通常是采用串入电抗器的办法进行调压来实现的，图3-4-6为湖南省株洲电扇厂出产的MT—400mm三速交流电容式台扇。它是利用电抗器L调压来实现三个转速的。

当调速开关K转到e点时，主绕组C与电抗器L串接到电

源上，电源电压的一部分将降落在电抗器L的$\overline{ea}$段，因而主绕组的工作电压降低了，主绕组产生的磁场减弱，电动机的转差率增大，转速显著降低。

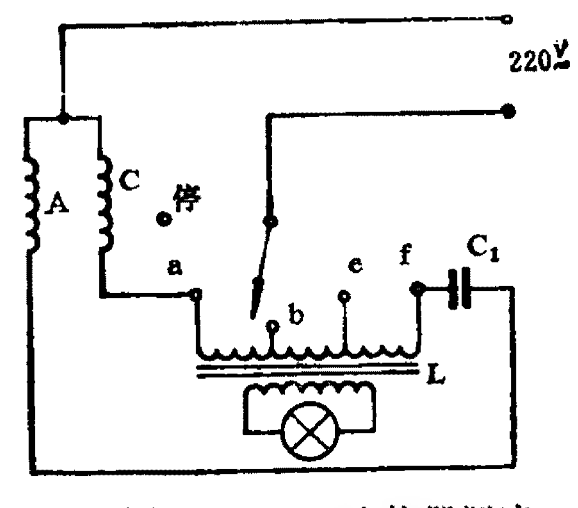


图3-4-6 电抗器调速原理接线图

当调速开关K转到a点时，主绕组在全电压下工作。同时，主绕组C与电抗器L组成了一个升压自耦变压器，使副绕组A支路承受的电压高于电源电压的数值更大（与慢速时比较）。所以，主绕组和副绕组所产生的磁场增强，使电动机的转差率减小，转速显著地提高。

当调速开关K转到b点上时，此时的主绕组C和副绕组A的工作电压介于高速和低速之间，因而得到中速运转。

利用电抗器作两速运转的电扇的电路图如图3-4-7所示。

2.采用调速绕组调速

利用调速绕组进行调速的方法，其调速范围较稳定，无需专门的电抗器。近年来，国内外的电容运转式电风扇一般都采用这种方法调速。

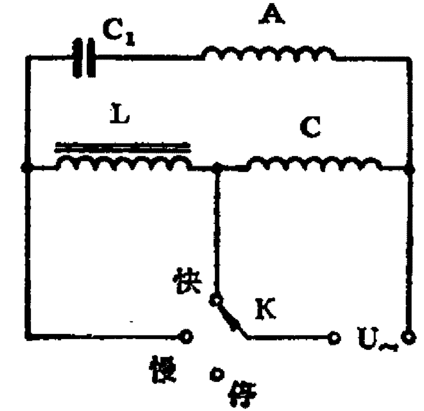


图3-4-7 利用电抗器作两速运行

在这种电动机的定子上，除了嵌置有主绕组和副绕组外，还有一个调速绕组。将调速绕组与主绕组或副绕组串联，改变主绕组上的电压，藉以控制磁场强度，从而达到调速的目的，采用调

速绕组进行调速的方法虽然比电抗器调速法节省材料，但其绕线工艺较复杂。

根据调速的具体要求，采用调速绕组时，其接线方式分为L、T两种形式：

(1) L-1型接线法　L-1型接线法原理接线图如图3-4-8所示。在这种接线中，调速绕组与主绕组串联接于电源电压上，此二绕组在空间上是同相位的，因此，调速绕组与主绕组是同槽分布的，调速绕组嵌置在主绕组之上。调速绕组导线规格的选择应视具体的调速要求而定，不一定要与主绕组导线线径相同。

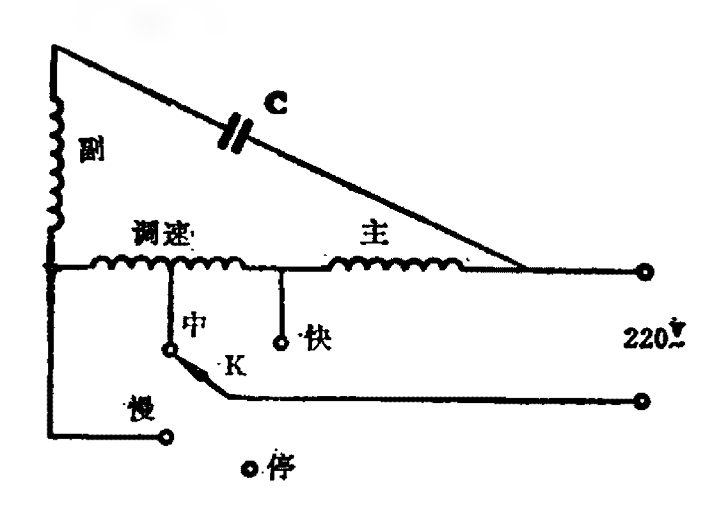


图3-4-8　L-1型接线法示意图

(2) L-2型接线法　L-2型接线法原理接线图如图3-4-9所示。在这种接线方法中，调速绕组与副绕组在空间上同相位，此二绕组的分布是同槽的，调速绕组嵌置在副绕组之上。此时，调速绕组导线规格的选择视调速的具体要求而定，不一定要与副绕组导线直径相同。

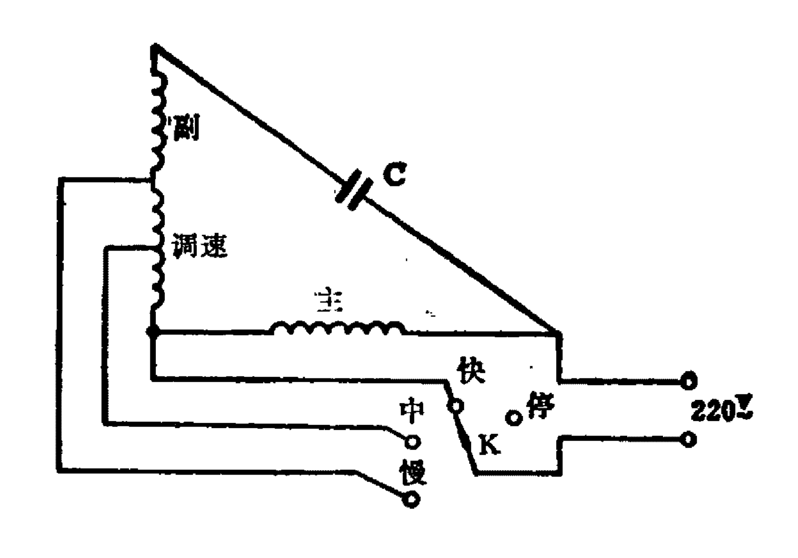


图3-4-9　L-2型接线法示意图

(3) T型接线法

T型接线法原理接线图如图 3 - 4 -10所示，调速绕组接在主绕组和副绕组之外，但调速绕组的空间相位、下线位置和导线直径的选择都与L - 2 型接线法相同。

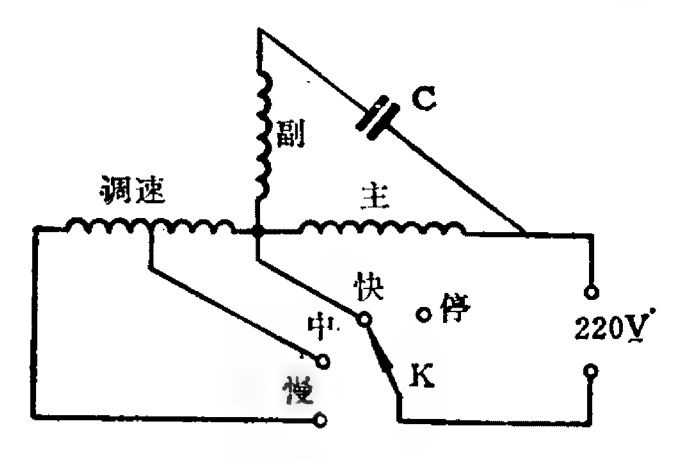


图 3 — 4 —10　T型接线法原理接线图

〔例〕　有一台300毫米风扇电容电动机，其定子槽数 Q_1 = 16，转子槽数Q_2 = 22，极数 2P = 4，其绕组数据见表 3 - 4 - 1。

表3—4—1　电容电动机绕组数据表

绕　组　名　称	每元件匝数	线径(毫米)	节　距(槽)
主　绕　组	800	φ0.17	1—4
副　绕　组	550	φ0.15	1—4
调 速 绕 组	450	φ0.15	1—4

调速绕组导线直径与副绕组线径相同，每元件匝数为450匝，在空间上与副绕组同相位，而且是同槽分布的。调速绕组嵌置在副绕组之上，其原理接线图如图 3 - 4 -11所示。这种接线法属于L - 2 型接线方法。

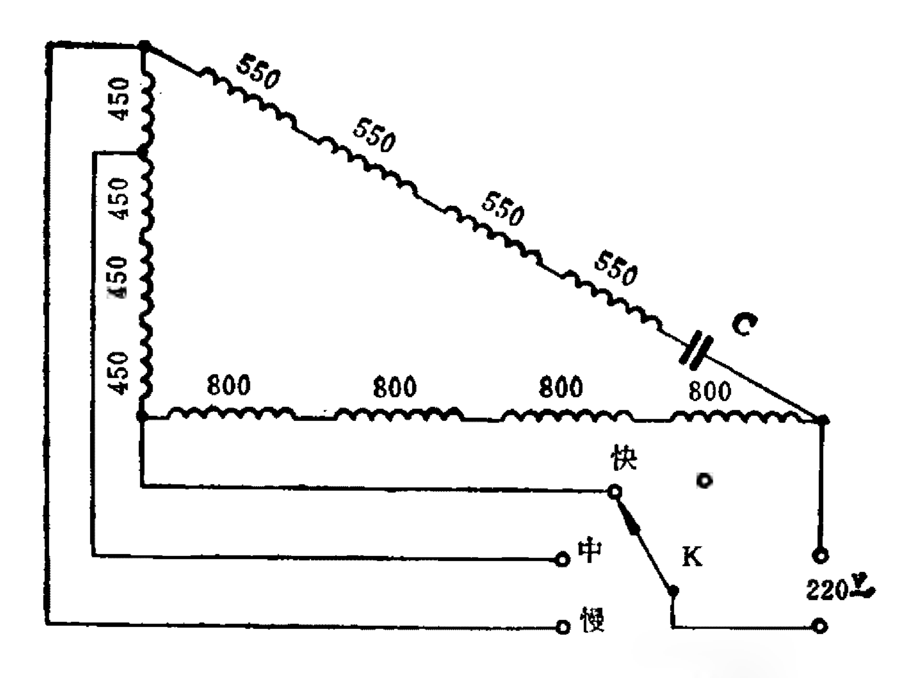


图 3 - 4 -11　电容电动机调速绕组原理接线图

3.定子绕组直接抽头调速法

为了进一步简化结构，也有采用定子绕组直接抽头来进行调速的。图 3 - 4 -12所示为电容式台扇电动机定子绕组抽头调速的原理接线图。

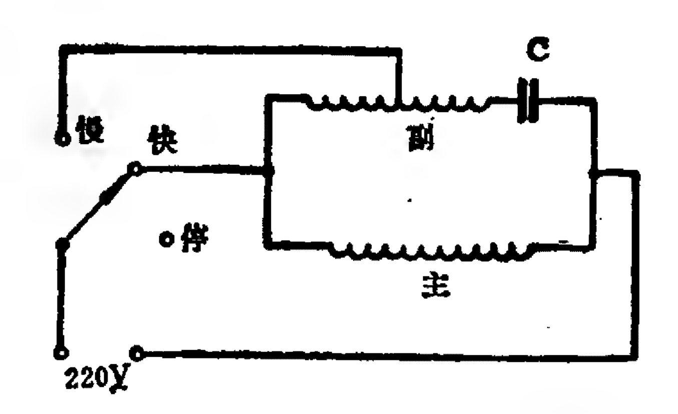


图 3 - 4 -12　台扇定子绕组抽头调速原理接线图

对于台扇、吊扇的电容式电动机来说，它的转差率较大，其主要原因是为了满足用户的需要，提高风扇的风量，因此，在设计时，除了选择合理的叶形外，还要适当加大扇叶的角度。

随着扇叶角度的加大，即负载增大，使电动机转速下降，转差率上升。由于其转差率较大，所以其调速范围较宽。而且，在较低的转速下，噪声也随之减小。

电风扇的转差率与电动机的极对数有关，两者之间的大致关系见表 3－4－2 所示。

表3—4—2　电风扇的转差率与电动机极对数的关系表

<table>
<tr><th>类　　别</th><th>电动机极对数 P</th><th>转　差　率　S</th></tr>
<tr><td rowspan="2">台　　扇</td><td>2</td><td>0.13～0.33</td></tr>
<tr><td>4，6</td><td>0.1～0.18</td></tr>
<tr><td rowspan="3">吊　　扇</td><td>12，14</td><td>0.2～0.28</td></tr>
<tr><td>16，18，20</td><td rowspan="2">0.1～0.21</td></tr>
<tr><td>22，24</td></tr>
</table>

需要指出，单相异步电动机采用改变绕组电压的方法进行调速时，电压的改变，必然会牵涉到电动机某些参数的变化。例如电动机的转矩就与电压的平方成正比。加在主绕组上的电压下降后，速度是下降了，但是电动机的转矩却随之下降得更显著。因此，这种调速方法只能用于转矩随转速下降的负载（如电风扇、鼓风机等），而不适宜于拖动额定负载的电动机调速。

第五节　单相异步电动机的反转

根据单相异步电动机的起动原理可知，欲改变单相异步电动机的旋转方向，只要将主绕组或副绕组的两个接线端互换之

后，分相电动机和电容式电动机的旋转方向便可以倒过来。图3－5－1为分相电动机反转的原理接线图。

当转换开关HK在图中的实线位置时，副绕组电流$\dot{I}_A$导前主绕组电流$\dot{I}_C$，使电动机正向旋转；当转换开关HK倒向图中虚线位置时，副绕组电流$\dot{I}_A$的方向改变了180°，则使主绕组电流$\dot{I}_C$导前于副绕组电流，因而电动机便反向旋转。其电流向量图如图3－5－2所示。同理，如果改变主绕组的接线端，也可以实现电动机的反方向旋转。

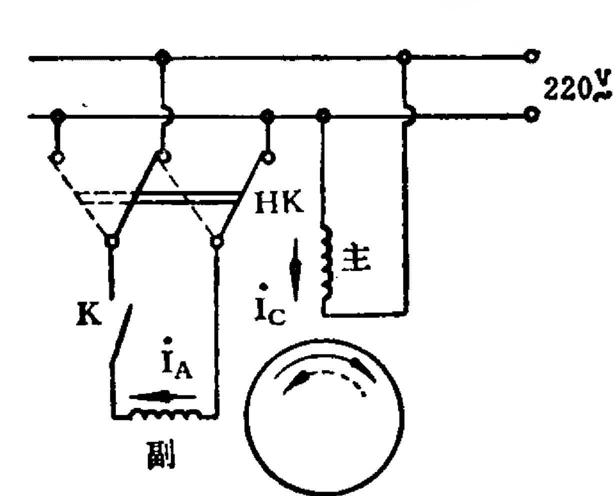


图3－5－1　分相电动机的反转接线图

$\dot{U}$　$\dot{I}_A+\dot{I}_C$　$\dot{I}_A$　$\dot{I}_C$　$-\dot{I}_A$

图3－5－2　分相电动机反转时，电流向量图

图3－5－3所示为电容运转式电动机正、反向旋转的原理接线图。

当转换开关HK在图中实线位置时，副绕组电流$\dot{I}_A$导前于主绕组电流$\dot{I}_C$，此时，电动机正方向旋转。当转换开关HK倒在图中虚线位置时，副绕组电流$\dot{I}_A$方向

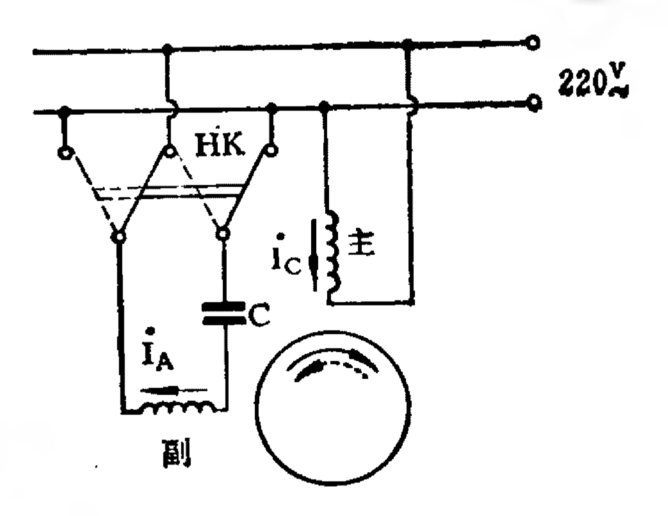


图3－5－3　电容运转式电动机正反转原理接线图

改变了180°，则使主绕组电流$\dot{I}_C$导前于副绕组电流$\dot{I}_A$，从而使电动机反方向旋转。其电流向量图参见图3－5－2。

对于罩极电动机，调换绕组的接线端不能改变电动机的旋转方向。若要改变罩极电动机的旋转方向，需要将电动机的定子调头之后，再装进转子，或将定子铁芯取出，倒一个方向再装进去。这是因为在罩极电动机中，由于罩极的裂相作用，使得原来没有旋转性质的磁场变成了一个具有旋转性质的磁场，其旋转磁场轴线的移动方向是由磁极的未罩部分转向罩极部分的，转子则以正方向旋转。当定子调头后（即转动了180°），使磁极的未罩部分与罩极部分的相对位置改变了，即原来罩极部分在未罩部分右边，当定子调头后，其罩极部分就变到未罩部分的左边，而电动机转子的旋转方向始终是由未罩部分转向罩极部分的。所以，当罩极电动机的定子调头后，再装进转子，就可以改变罩极电动机的旋转方向。罩极电动机定子调头后，罩极部分与未罩部分相对位置的变化如图3－5－4所示。图(*a*)为正转；图(*b*)为反转。

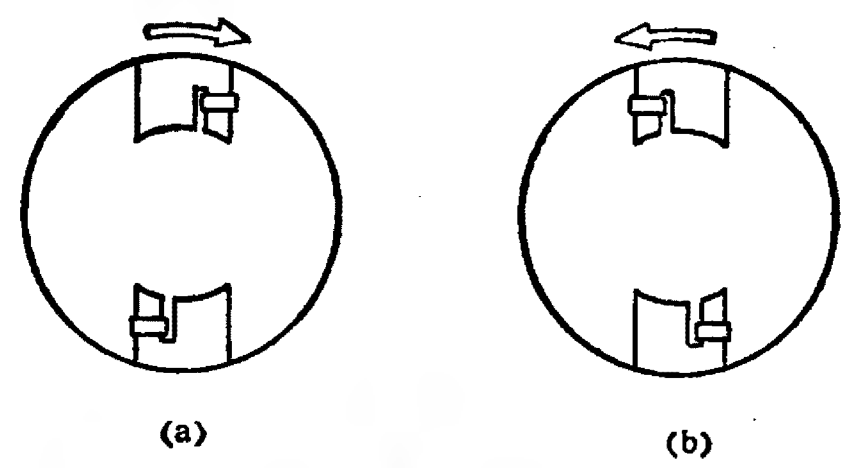


图3－5－4 罩极电动机的正反转

控制罩极电动机旋转方向的第二种方法是在电动机的定子槽中嵌置一套主绕组和两套罩极绕组，罩极绕组的极数和主绕

组相同，利用开关的转换作用，将其中的一套罩极绕组接入电路（另一套罩极绕组不接入电路），产生罩极作用，使电动机朝某个方向旋转；当开关转换到另一套罩极绕组时，第一套罩极绕组退出运行，由第二套罩极绕组起罩极作用，从而使电动机朝另一个方向旋转。其原理如图 3－5－5 所示。

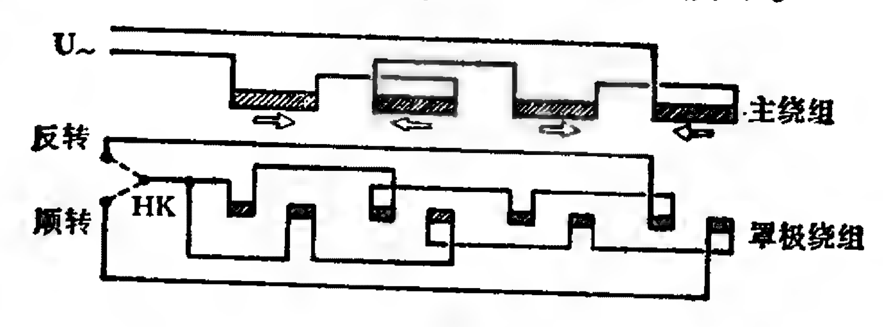


图 3－5－5　两套罩极绕组接线原理图

还有一种改变罩极绕组旋转方向的方法，那就是在电动机定子槽中嵌置两套主绕组和一套罩极绕组。罩极绕组可以是一只铜环，也可以是线绕的。当需要电动机顺时针方向旋转时，只将一套主绕组接入电路，另一套主绕组不起作用；当需要电动机逆时针方向旋转时，则将第二套主绕组接入电，使第一套主绕组开路。图 3－5－6 所示为一台 4 极12槽罩极电动机中两套主绕组和一套罩极绕组在一个磁极内的分布图。图 3－5－7 为这台罩极电动机的绕组排列方式图。

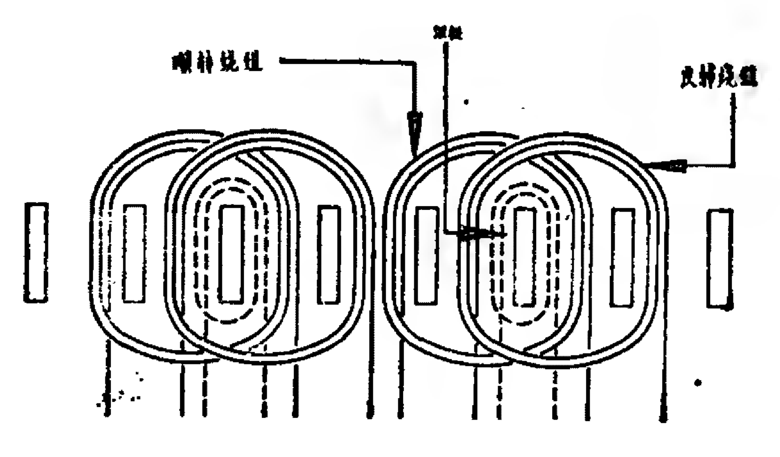


图 3－5－6　一个磁极内绕组的放置图

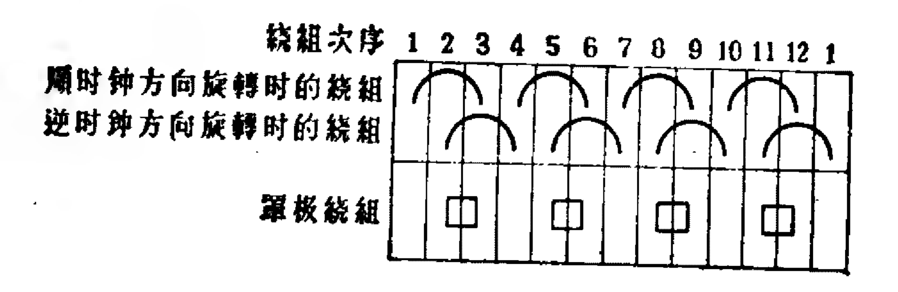


图3-5-7 两套主绕组和一套罩极绕组的排列方式

综上所述，改变罩极电动机的旋转方向归根到底就是改变主绕组和罩极绕组的相对位置。第二种方法和第三种方法只不过是变换了主绕组和罩极绕组的数目，以此来实现主绕组和罩极绕组相对位置的改变，二者可谓异曲同工。

为简明起见，将罩极式单相异步电动机、电阻分相式单相异步电动机和电容式单相异步电动机改变旋转方向的方法列于表3-5-1中。

表3—5—1 三种单相异步电动机改变转向的方法

电动机类型	罩极式	分相式	电容式
改变旋转方向的方法	1.将定子铁芯取出，倒一个方向再进去； 2.将定子调头后，再将转子装进去； 3.采用两套罩极绕组； 4.采用两套主绕组。	1.颠倒起动绕组的接线端； 2.颠倒运行绕组的接线端。	1.颠倒副绕组的接线端； 2.颠倒主绕组的接线端。

第六节 三相异步电动机在单相电源上运行

在生产实际和日常生活中，有时会遇到只有单相电源的地方需要三相电动机运行的问题，例如农村中某些生产队只有220

伏单相电源，如何利用现有的三相电动机有效地运转来进行抗旱、脱粒等工作。又如在某些特殊情况下，需要用三相电动机代替某些家用电器（如电冰箱、电风扇等）中的单相电动机时，也是三相电动机作单相运行的问题。尤其是考虑到单相电动机较三相电动机耗材料多、成本高，现阶段我国尚不生产动力用的大功率单相异步电动机的情况。因此研究三相异步电动机在单相电源上运行的问题，是一个具有一定实用价值的课题。

三相异步电动机作单相运行时，电动机本身没有起动转矩，因此需要采取适当的措施，使电动机形成旋转磁场，从而产生起动转矩，这是三相异步电动机在单相电源上运行的关键。三相异步电动机在单相电源上运行的第二个问题，就是如何尽可能地提高电动机功率的利用率，并使得电动机有较好的工作特性和较高的功率因数。

从单相异步电动机的原理可知，两个在空间互差90° 电角度的绕组，通以电流时，它们所产生的磁场轴线在空间也互差90° 电角度。若此时通过这两个绕组的电流也具有一定的相位差，那么，便能形成两相旋转磁场，产生起动转矩，从而使电动机得以起动。因此，我们若将三相异步电动机中的任意两相绕组（例如A、B两相绕组）串联起来作为主绕组，另一相绕组串以适当的电容（电感或电阻）作为副绕组，将它们接在同一单相电源上，就和单相异步电动机一样，形成两相旋转磁场，产生起动转矩，使电动机起动并正常运行。下面就三相异步电动机在单相电源运行的几种方法进行讨论：

一、电感电容移相方案

电感电容移相方案的实质，就是在电动机外部通过电感L和电容C的移相作用，将单相电源转换成三相对称电源之后，再施于三相电动机上。因此，电动机本身的旋转原理就与三相

制供电时相同，只不过是以220伏的单相电源代替了380伏的三相对称电源罢了。

图3-6-1为采用电感电容移相电路的原理接线图。

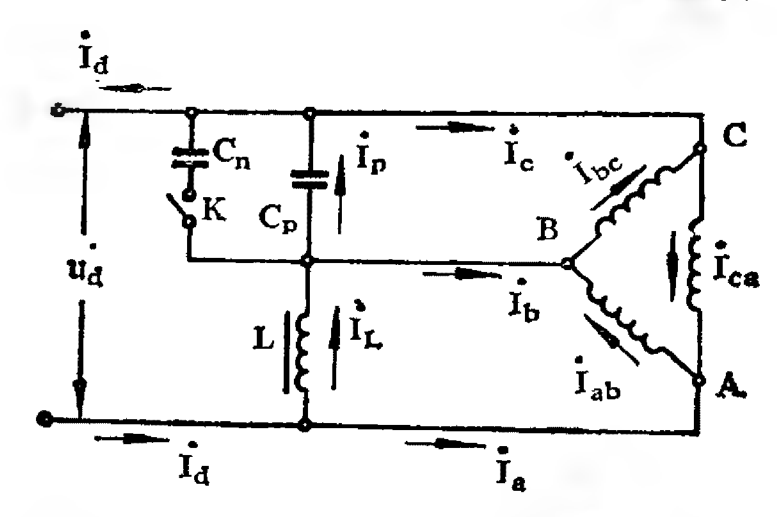


图3—6—1 电感电容移相原理接线图

由电工原理可知，若把电感L和电容C串联接入交流电源，当有$\omega L = \dfrac{1}{\omega C}$时，电路将产生串联谐振。当电感L和电容C的数量配置恰当时，可以使A、B、C三点之间的电压构成对称电压，即 $u_{AB} = u_{BC} = u_{CA}$，且其相位互差120°电角度。此时的电压、电流向量图如图3-6-2所示。由向量图中电流 I_L、I_P 和 I_b 所构成的三角形中，可以求出该方案所选用的最佳电容量 C_P 和

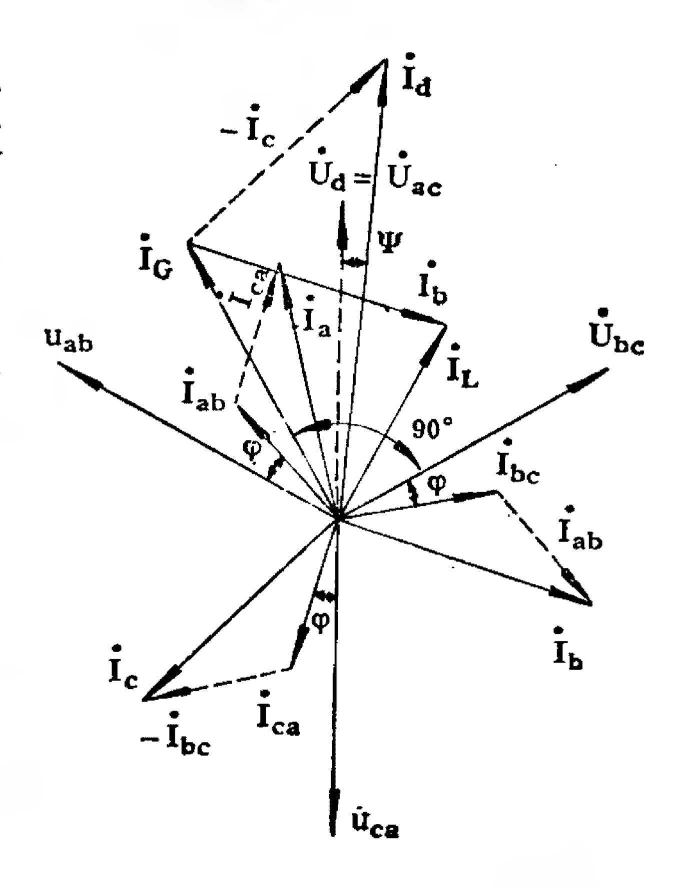


图3-6-2 电压电流向量图

最佳电感量L，其计算公式为：

$$C_P=\frac{0.67s\times\sin(60°+\varphi)\times10^6}{\omega u_d^2}\text{(微法)}\quad(3—6—1)$$

$$L=\frac{1}{\omega^2C_P}=\frac{1.5u_d^2\times10^3}{S\omega\sin(60°+\varphi)}\text{(毫亨)}\quad(3—6—2)$$

式中：u_d——单相电源电压(伏)；

φ——电动机功率因数角；

S——电动机输入端的三相视在功率(伏安)；

ω——角频率，$\omega=2\pi f$。

前面已经讲过，电动机输入端的视在功率S和它的功率因数$\cos\varphi$是随着负载的变化而变化的，因此，以某一既定负载时的视在功率S和功率因数角φ代入公式（3-6-1）和公式（3-6-2）所计算出来的电容C_P和电感值L，只能保证电动机在该负载下才能达到三相电压、三相电流完全对称。当负载变化后，若配置的电容值C_P和电感量L不随之改变的话，那么必然破坏三相电压和三相电流的对称性。

然而，在实际应用中，不可能实现电容量C_P和电感值L随负载变化的自动调节，一般是取用额定负载下的输入视在功率S和功率因数角φ代入公式（3-6-1）和公式（3-6-2）计算出电容量C_P和电感值L。这是因为当实际负载偏离额定负载不大时，电动机的三相电压也能基本上维持对称。当实际负载偏离额定负载愈大时，电动机三相电流的不对称度也愈大。然而，即使在电动机空载情况下（这是极端情况），电动机的三相电流的不对称度仍在允许范围内，况且电动机空载运行时间不可能维持很长；同时，在农村和一般厂矿，不同负载时，电动机输入的三相视在功率和功率因数本身就难以确定。

电感电容移相方法同样适用于定子绕组“Y”形接线的电

动机，其原理接线图如图3—6—3所示。此外，电感电容移相方法还可用于380伏的两相电源。

采用电感电容移相方法的主要优点是它不但适用于定子绕组“△”接线的三相异步电动机，而且还适用于定子绕组“Y”接线的三相异步电动机，特别是对负载比较恒定的排灌设备尤为适用。同时，由图3-6-2所示的向量图，还可以找出电动机单相运行时的功率因数cosφ，此时的功率因数角φ，为电流$\dot{I}_d$滞后于电源电压$\dot{U}_d$的相位角。并有：

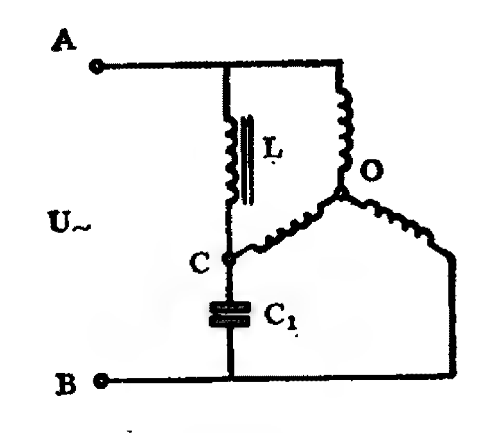


图3—6—3　Y接电动机的电感电容移相方法

$$\cos\varphi = \frac{3\cos\varphi}{\sqrt{8\cos^2\varphi + 1}} \qquad (3—6—3)$$

式中：Cosφ——三相电动机的额定功率因数。若以cosφ=0.8代入公式(3-6-3)则

$$\cos\varphi = \frac{3\times0.8}{\sqrt{8\times0.8^2+1}} = 0.972$$

由此可见，采用电感电容移相方法，将三相异步电动机作单相运行时，其功率因数有较大的提高。

由上述分析还可以明显地看出，对于额定功率为4千瓦以下的三相异步电动机，其铭牌上标有电压220/380，接线△/Y。因此，只要电感值L和电容量C_p配置得恰当，就能维持电压对称，得到220伏的三相对称电源，这就完全符合电动机铭牌上220伏、“△”接线的要求，因而可以使电动机单相运行时出力和三相运行时相等，这是电感电容移相方法最突出的优点。

采用电感电容移相方法的缺点是需要配置电容器和铁芯电

感，增加了投资和运行维护的工作量。

二、电容移相方案

采用电容移相方案使三相异步电动机在单相电源上运行，是三相异步电动机投入单相电网中运行的最简单的方法。它不但适用于定子绕组“Y”接线的三相异步电动机，也适用于定子绕组“△”接线的三相异步电动机。其原理接线图如图3-6-4所示。图中，当仅有工作电容C_p时，电动机的起动转矩很小，为了增大起动转矩，必须在起动时与工作电容C_p并联接入起动电容C_n，当电动机起动至接近同步转速时，由自动开关K将起动电容C_n切除。为了减小起动电容C_n的电容量，在C_n的两端并联了电阻r。同时，在C_n从电源中切除后可以迅速地向电阻r放电，以便电动机进行较频繁的再起动。

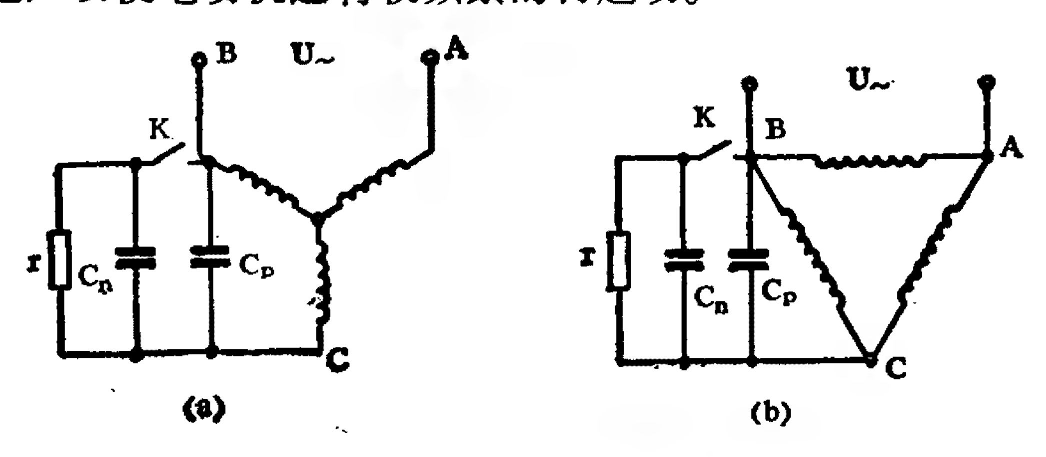


图3—6—4　电容移相方案原理接线图

(a) Y接线　　(b) △接线

工作电容C_p的计算：

$$C_p = \frac{I_H \times 10^6}{\omega U_H} \cos(\varphi_H - 60°) \quad (3\text{-}6\text{-}4)$$

式中：U_H——电动机在三相电网中运行时的额定电压(伏)；

I_H——电动机在三相电网中运行时的额定电流(安)；

φ_H——电动机在三相电网中运行时的额定功率因数角；

ω——单相电网的角频率。

起动电容C_n的确定：

$$C_n = (3\sim5)C_p \qquad (3\text{-}6\text{-}5)$$

并联电阻 r 的选择：

当给定起动转矩时，并联电阻 r 的大小，按照取得最小起动电容数值的条件来决定。如果应用计算公式来进行计算的话，一则比较复杂；二则计算结果仍不能准确。所以，电阻 r 的大小最好是通过试验来确定。

由于并联电阻 r 仅在很短的时间内(仅几秒钟)通过电流，因此允许短时通过为其额定值6～8倍的电流。它可以选用定型电阻，也可采用康铜丝或锰铜丝自行绕制。

三相异步电动机采用电容移相法在单相电网上运行，其控制和保护线路图如3-6-5所示。图中利用控制按钮QA和TA可以接通或断开电动机，并且使起动用的电容C_n和电阻 r 在起动完成后，随着起动按钮QA的松开而自动从电路中切除。图中熔断器RD作为电动机的短路保护，热继电器JR是电动机的过载保护。

图3—6—5中，如果按钮TA触头的分断能力不足以切断起动元件C_n和r的话，则可在该线路图中增加一只中间继电器P，其接线图如图3—6—6所示。

三、拉开“Y”形方案

拉开“Y”形方案适用于单相电源电压为380伏的场合，在仅有220伏照明电源的农村中，当农忙季节或排渍、抗旱时，将零线改接在配电变压器的另一相火线上，则得到380伏电源。此时，家庭照明暂时停用，在电动机工作的地方或其他非需要照明不可的场所可将两只同样瓦数的220伏灯泡串联起来进行照明。

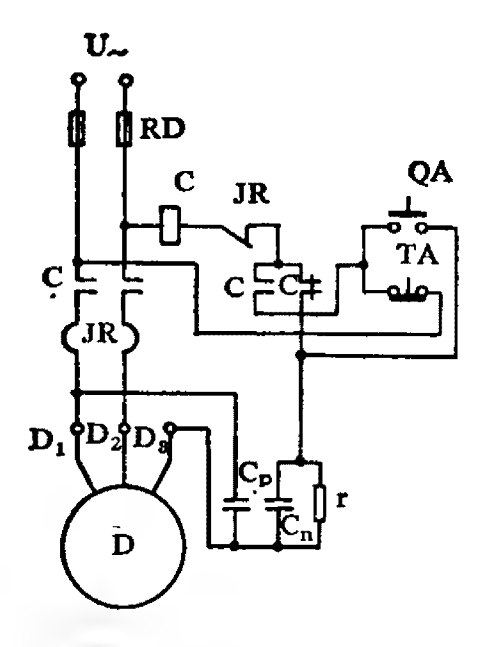


图3-6-5 电容移相时的控制和保护线路图

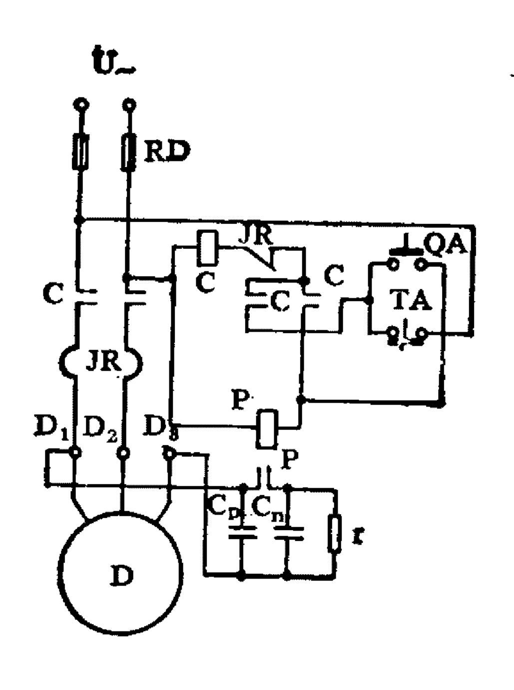


图3-6-6 装有中间继电器的线路图

采用拉开“Y”形方案的原理接线图如图3-6-7所示。图中AX和BY两相绕组串联构成主绕组(运行绕组)，电动机的另一相绕组CZ与电容器C_p串联，作为副绕组(起动绕组)。为了提高电动机的起动转矩，电容器C_n与电容器C_p并联。当电动机起动至接近额定转速时，由开关K将电容器C_n切除，仅留下电容器C_p参加运行。

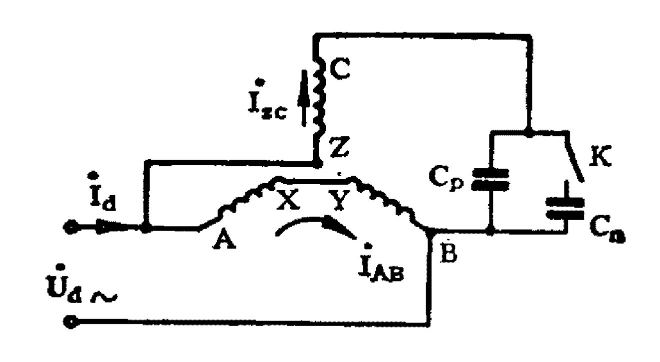


图3-6-7 拉开“Y”形接线方案图

按图3-6-7所示接上单相电源时，就能使定子绕组产生在

空间上互成90°的两个磁场，如图3-6-8所示。图中AX绕组所产生的磁通$\dot{\Phi}_{AX}$与YB绕组所产生的磁通$\dot{\Phi}_{YB}$的合成磁通为$\dot{\Phi}_{AB}$，C相绕组所产生的磁通为$\dot{\Phi}_{ZC}$，由图3-6-8(*b*)的向量图可见，磁通$\dot{\Phi}_{AB}$与磁通$\dot{\Phi}_{ZC}$在空间上互成90°夹角。

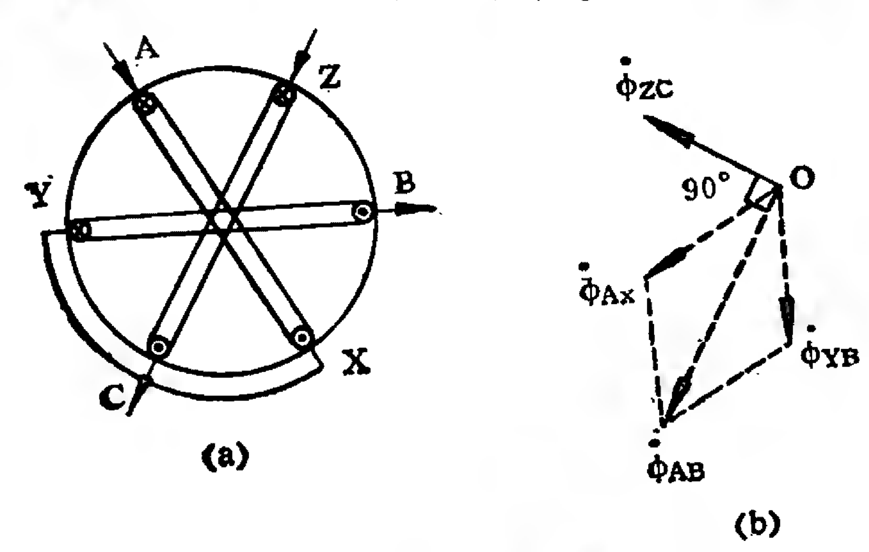


图3-6-8 定子绕组磁通在某一瞬间的空间关系

由于工作电容C_p的移相作用，使磁通$\dot{\Phi}_{AB}$与磁通$\dot{\Phi}_{ZC}$之间在时间上也具有一定的相位差，只要该相位差不等于零或180°而是为其他某一角度时，就能形成椭圆形旋转磁场，从而使电动机得以起动。

磁通$\dot{\Phi}_{AB}$为电流$\dot{I}_{AB}$所产生，磁通$\dot{\Phi}_{ZC}$为电流$\dot{I}_{ZC}$所产生，根据电容电动机的工作原理，如果电容C_p选择适当，可使电流$\dot{I}_{AB}$与$\dot{I}_{zc}$在时间上的相位差θ角接近于90°。同时，又要使$I_{AB}=I_{ZC}=I_H$（I_H为三相电动机的额定电流），才能保证电动机有较大的出力。然而，在实际应用中，很难同时具备这两个条件。不过，只要电容C_p选择得当，使$I_{AB}=I_{ZC}\approx I_H$时，电流$\dot{I}_{AB}$与$\dot{I}_{ZC}$之间的相位差θ角虽不等于90°，但可保持在90°～100°左右。主绕组电流$\dot{I}_{AB}$滞后于电压$\dot{U}_{AB}$（即$\dot{U}_d$）的角度$\varphi'=30°$电流$I_{AB}=I_{ZC}\approx I_H$时的近似相位图如图3-6-9所示。

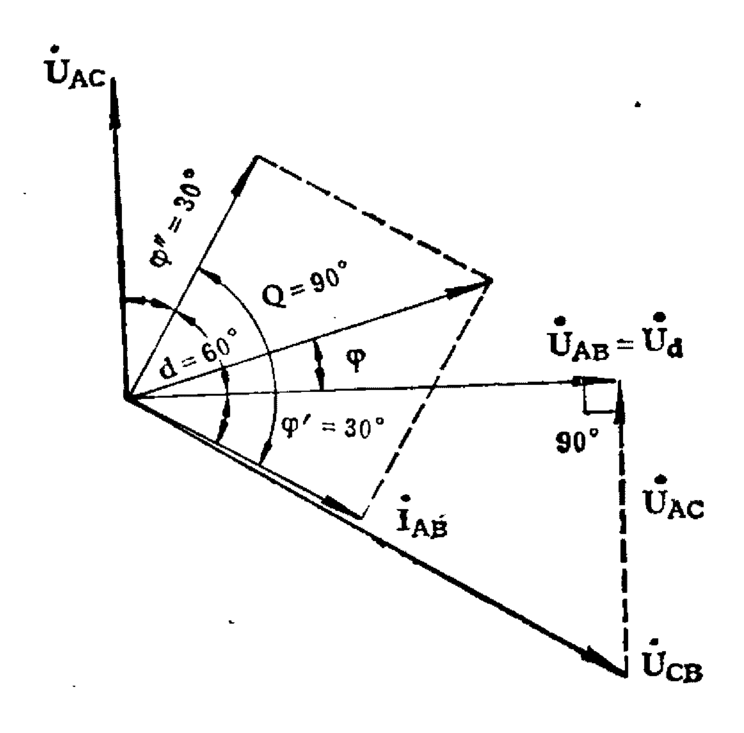


图3-6-9 近似相位图

1、电容C_p最佳电容值的计算

(1) 副绕组CZ电压值U_{AC}的确定：

由图3-6-9中的相位图可得

$$U_{AC}=U_{AB}tg\varphi'=380\times tg30°=220(伏)$$

(2) 电容器C_p两端电压值U_{CB}的确定：由图3-6-9中的相位图可得

$$U_{CB}=\sqrt{U_{AB}^2+U_{AC}^2}=\sqrt{380^2+220^2}$$
$$=440(伏)$$

由此可见，在选择工作电容C_p和起动电容C_n的工作电压时，应使其大于600伏。

(3) 工作电容C_p的最佳电容值的确定：

$$\because \quad I_{ZC}=\frac{U_{CB}}{x_C}=U_{CB}\cdot\omega C_p$$

当调整到最佳工作电容值时，则有$I_{ZC}=I_{AB}\approx I_H$。

$$\therefore I_H = U_{CB}\omega C_p$$

$$C_p = \frac{I_H}{U_{CB}\omega} = \frac{I_H \times 10^6}{440 \times 314} \text{（微法）}$$

此时，起动电容可以这样来估算：

$$C_n = (0.8\sim0.9)C_p$$

2.电动机出力的计算：

三相电网供电时，电动机的额定输出功率为

$$P_s = \sqrt{3}\,\eta_H U_H I_H \cos\varphi_H \doteq 656\eta_H I_H \cos\varphi_H$$

式中：η_H——三相电动机的效率。

当电动机按图3-6-7接线作单相运行时，其最大输出功率为

$$\begin{aligned} P_d &\doteq \eta_d(U_{AB}I_{AB}\cos\varphi' + U_{AC}I_{ZC}\cos\varphi'') \\ &\doteq \eta_d(380I_{dH}\cos30° + 220I_{dH}\cos30° \\ &= 600\eta_d I_{dH}\cos30° \end{aligned}$$

那么，$\frac{P_d}{P_S} \doteq \frac{600\eta_d I_{dH}\cos30°}{656\eta_H I_H\cos\varphi_H} = 85\sim95\%$

由此可见，单相供电时，采用拉开“Y”形方案时，可使电动机的出力达到三相供电时额定出力的85～95％。

采用拉开“Y”形接线方案将三相异步电动机作单相运行时，还有一种有趣的现象：当电动机的负载小于某一数值时，作为主绕组的AX、BY两相绕组与作为副绕组的CZ之间出现功率交换现象，如图3-6-10所示。当负载大于拐点M时，主绕组电压$\dot{U}_{AB}$与电流$\dot{I}_{AB}$之间的相位差$\varphi' < 90°$，则有$P_{AB} = U_{AB}I_{AB}\text{Cos}\varphi' > 0$。即主绕组从电网中吸取有功功率，即主绕组作电动机状况运行。当负载降低时，电流I_{AB}和功率随之减小，而电压$\dot{U}_{AB}$与电流$\dot{I}_{AB}$之间相位角φ却增大。当负载继续减少到拐点M点所对应的数值时，电压$\dot{U}_{AB}$与电流$\dot{I}_{AB}$之间的相位

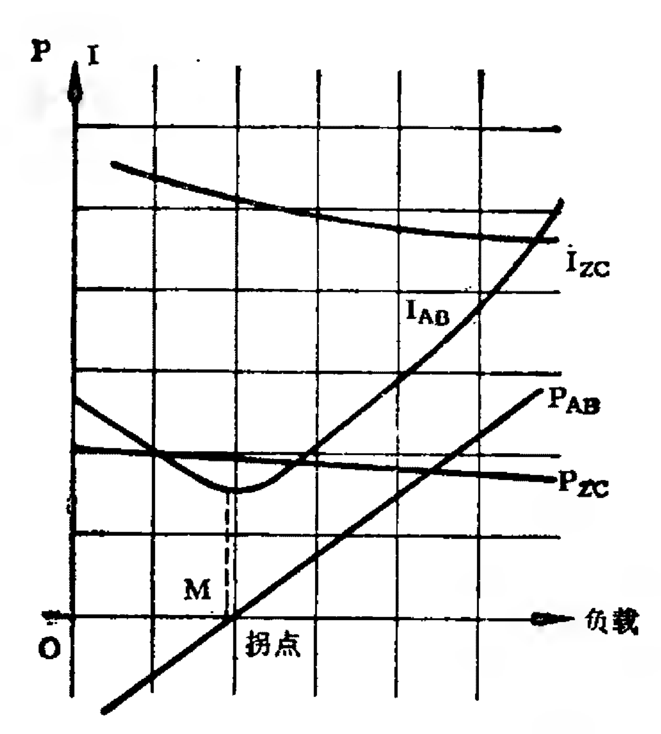


图3-6-10 主绕组电流、功率与副绕组电流、功率的变化关系曲线

角$\varphi' = 90°$，即有$P_{AB} = U_{AB}I_{AB}\cos\varphi' = 0$。当负载小于拐点M处的数值时，$\varphi' > 90°$，则有$P_{AB} < 0$，此时，主绕组发出有功功率供给副绕组，即主绕组作发电机状况运行。

对于副绕组而言，不论负载为何值，它都要向电网吸取有功功率。当负载小于拐点M所对应的数值时，副绕组不但从电网中吸取有功功率，而且还从主绕组中吸取有功功率，亦即在电动机内部，作为主绕组的AX、BY两相绕组与作为副绕组的ZC相绕组之间存在着功率交换现象。副绕组CZ的电流I_{ZC}和有功功率P_{ZC}的大小，主要取决于工作电容C_p的大小，当工作电容C_p维持定值而负载急剧降低时，电流I_{ZC}和有功功率P_{ZC}基本上维持恒定，如图3-6-10所示。

拉开"Y"形方案的使用有较大的局限性，这是因为：

1.该方案仅适用于单相电源电压为380伏的场合，而实际上，具备380伏单相电源的场合非常少，若是通过单相220伏电

源改接零线来获得，则嫌麻烦，同时所有照明都将停止。

2.由图3-6-7可见，拉开"Y"形方案要将定子绕组"Y"接的中点解开才行，然而，目前，在我国凡是4千瓦以下的JO_2和JO_3型三相异步电动机定子绕组规定为"Y"接线，而"Y"接的中点有的焊接在一起，且紧扎在电动机内，其接线盒仅引出三根端线。因此，若要解开其中点，显然是不方便的。

四、拉开"△"形方案

拉开"△"形接线方案适用于单相电源电压为220伏或380伏、三相电动机定子绕组作"△"形接线的场合，其原理接线图如图3-6-11所示。这个方案与图3-6-7所示的拉开"Y"形接线方案的基本原理是相同的，但与拉开"Y"形方案比较有如下的一些主要特点：

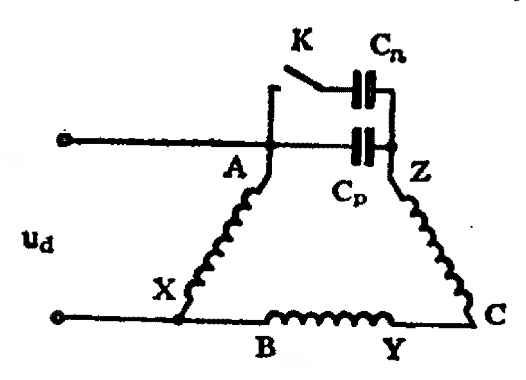


图3-6-11 拉开"△"形方案原理接线图

1.由图3-6-11可见，电动机中只有AX一相绕组作为主绕组，BY和CZ两相绕组串联作为副绕组。而图3-6-7所示方案中则是电动机的AX与BY两相绕组串联构成主绕组，而绕组CZ作为副绕组。

2.图3-6-11中，绕组ZC、BY与绕组XA构成自耦变压器。由于自耦变压器的升压作用，使得电容器C_p和C_n所承受的电压约为单相电源电压的3倍，因此需要选用比图3-6-7中具有更高工作电压的电容器C_p和C_n。

3.若要电动机倒转，只需将图3-6-11中副绕组的两端Z、Y互相对调或者将主绕组的端头A、X互相对调即可。

4、通过试验证明，图3-6-11所示拉开"△"方案与图3-6-7

所示拉开"Y"形方案比较，二者所需工作电容C_p的电容量大小相近，但前者所需的起动电容C_n要比后者大得多。

第七节 电 风 扇

根据不同的安装方式，电风扇分为吊扇、台扇、落地风扇和排气风扇等。而这些电风扇大多采用单相异步电动机作动力。

一、电风扇的产品型号编制方法

电风扇的组别代号为F。

电风扇的型别代号和系列代号见表3-7-1。

表3—7—1 电风扇的型别和系列代号

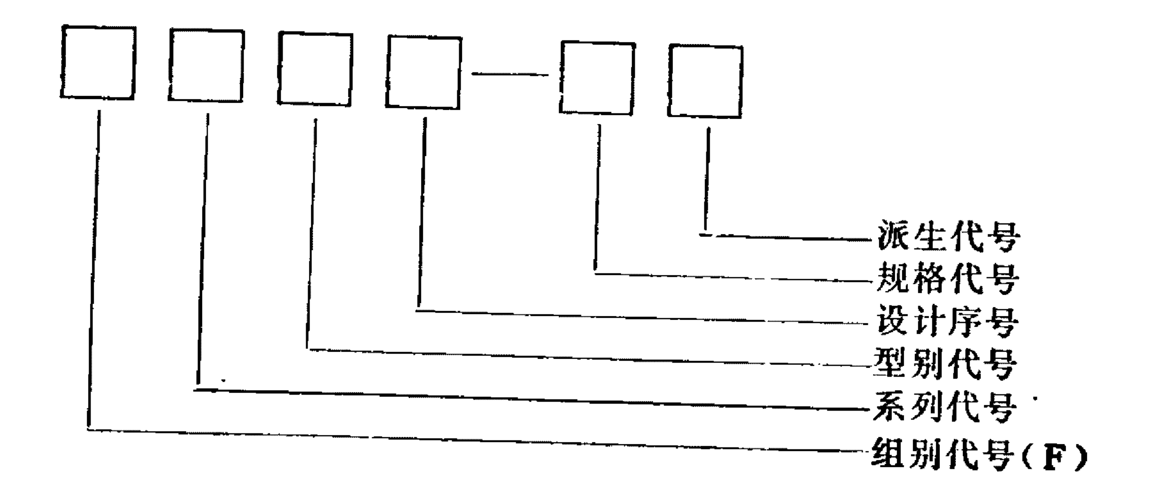
型 别 代 号	系 列 代 号
A——轴流排气扇	H——罩极式
B——壁式	R——电容式(可省略)
C——吊式	T——三相
D——顶式	Z——直流
S——落地式	
T——台式	

电风扇的规格代号见表3—7—2。

表3—7—2　电风扇的规格代号表

品种 \ 风叶直径（毫米）	规格代号					
	1	2	3	4	5	6
台扇、壁扇、落地扇、排扇	150（7吋）	200（8吋）	250（10吋）	300（12吋）	350（14吋）	400（16吋）
吊扇	900（36吋）	1200（48吋）	1400（56吋）	1500（60吋）		

电风扇全型号的组成型式



电风扇新旧型号对照见表3—7—3。

表3—7—3　电风扇新旧型号对照表

序号	名　　　　称	统一型号	旧　型　号
1	交流电容式台扇	FT	QB、DQ、FDT
2	交流电容式台地扇	FE	—
3	交流罩极式台扇	FHT	BQ、BW
4	交流电容式吊扇	FC	DDZ、FDD、DD
5	交流罩极式吊扇	FHC	BD
6	单相电容式落地扇	FS	LD_1
7	三相落地扇	FTS	L—534
8	单相电容式轴流排气风扇	FA	CFP
9	三相轴流排气风扇	FTA	G_3F、D_3S
10	直流台扇	FZT	—
11	直流壁扇	FZB	ZB
12	直流顶扇	FZD	ZT
13	直流排气风扇	FZA	$2P_1$

二、吊扇

单相交流吊扇通常采用罩极式和电容运转式两种单相电动机。由于吊扇的扇叶较长，转动时线速度大，因此，电动机的转速不能太快。一般吊扇电动机的转速设计在每分钟200～400转的范围内。它和普通单相电动机的结构不一样，吊扇电动机的转子装配在定子的外面，定子装配在中间的吊杆上，而将转子与端盖连在一起围绕着定子旋转，风叶则装在端盖上。

吊扇一般不装设调速装置，如有特殊需要，也可装设调速装置。调节吊扇快慢的常用方法是降低电动机的端电压，即用一个带抽头的铁芯线圈L与一个刷形开关HK组成的调速装置，其原理接线图如图3-7-1所示。这种调速装置可根据使用的需要和控制的方便安装在适当的地方。

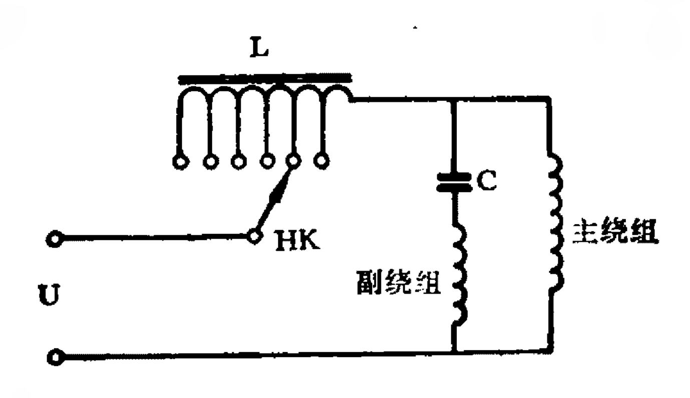


图3-7-1吊扇的调速原理接线图

三、台扇

单相交流台扇采用的电动机，有罩极式和电容式两种。罩极式风扇的特点是价格低廉，结构简单。电容式台扇输出风量较大，耗电量小，而且体积小、重量轻。200毫米以下的台扇一般为罩极式；200毫米以上的台扇，罩极式和电容式都有。台扇一般装有摇头机构，能在100°角度范围内自动地往复摇头。新型的台扇采用特殊的角度盘装置，可以不必移动台扇机座，只要推动防护罩一下，就可以使风扇摇头位置在180°范围内变动。

台扇的摇头钮有两种：一种是揿拨式，其摇头揿拨钮装在台扇顶部，揿下时风扇可以摇头，拔上时不摇头。另一种是摇头旋钮式，装在风扇的底座上。将旋钮旋向“MOVE”（摇动）时，风扇即开始摇头；将旋钮旋向“STOP”（停止）时，风扇便停止摇头。

台扇的调速有采用电抗器调速、定子嵌置调速绕组和定子绕组直接抽头等三种方法，参见图3-4-7、图3-4-8、图3-4-9、图3-4-10、图3-4-11和图3-4-12。

台扇的调速开关有两种：

1.旋转式开关钮

旋转开关钮可以改变台扇的速度档，在接通电源之前，先将开关钮上的“0”位置对准指示灯，这表示断开。然后将插头插入电源插座，旋动开关钮，风扇即开始运转。开关钮上的位置“1”表示最大转速；“2”表示中速；“3”则表示最慢速度。这样，就可以根据需要，在一定的范围内调节台扇的转速。

2.琴键式开关

开关按钮排列似琴键式样，当开关键均未揿下时，表示电源断开。若揿下开关键1时，表示速度最高；揿下开关键2时，开关键1同时跳开，台扇便在中速运转；揿下开关键3时，开关键2同时跳开，台扇便在低速下运转。若要停止时，则可揿下开关键“0”。琴键开关装有机械连锁装置，从而避免同时揿下两个开关键而造成事故。

有些台扇底座上还装有彩色指示灯，当台扇在运行时，指示灯亮，表示电源已经接通。开关断开时，指示灯熄灭，这样，不但能在黑暗中指示风扇是否通电，而且还能在夜间增进房间色调上的美观。

3.台扇定时开关的旋钮

较为完善的台扇还装有定时开关，它可以按照需要，在60分钟内任意控制风扇的运转时间。

装有定时开关的台扇，若将旋钮扭到ON位置，则此开关与电源长期接通，定时装置退出运行，台扇运转不受定时限制。

定时开关上的数字是指需要运转台扇的时间（以分钟为单位）。例如将旋钮顺时针方向扭至“15”，再按下琴键开关，台扇运转15分钟后旋钮自动回到“0”位，即自动切断电源。如再使用，则应按照需要将旋钮扭到ON位置或所需时间，如图3-7-2所示。

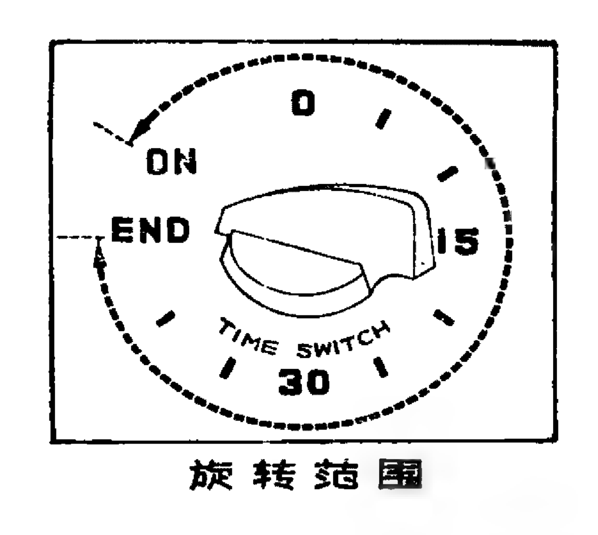


图3-7-2　定时开关的旋转范围

需要注意，使用定时开关时，只能在图3-7-2所示范围内旋转。否则将使定时开关机构失灵或损坏。

四、单相落地式风扇

单相落地式风扇的规格尺寸及参数见表3-7-4。

表3—7—4　单相落地式风扇规格尺寸及参数表

规格尺寸				电动机额定参数					
风叶直径（毫米）	叶数	风量（米³/分）	调速档数	型式	输入功率（瓦）	电压（伏）	频率（赫）	转速（转/分）	绝缘等级
300(12英寸)	3	33	3	电容式	44	220	50	1250	E
400(16英寸)	3	60	3	电容式	66	220	50	1250	E
500(20英寸)	3	160	—	全封闭电容式	140	220	50	940	E

五、单相排气风扇

排气风扇又叫排扇，常做工厂、仓库、地下室以及公共场

所调节空气之用，排气风扇通常制成轴流式。其风叶直接装在交流单相异步电动机的轴伸上，电动机则装在铸铁或薄钢板框架上，排扇靠框架固定在墙上。

单相排气风扇的规格尺寸及参数见表3—7—5。

表3—7—5 单相排风扇的规格尺寸及参数表

型号	风叶		风框	风量	电动机额定参数							总重	旋转方向
	直径(毫米)	叶数		(米^3/分)	形式	输入功率(瓦)	电压(伏)	电流(安)	频率(赫)	转速(转/分)	绝缘等级	(公斤)	
FA8-6	400	4叶	薄钢板	45	电容运转	145	220	0.75	50	1350	A	8.5	逆时针

六、吊扇、台扇、落地扇的使用与维修

1. 从包装中取出风扇时，要检查电扇的各种配件是否齐全。

2. 注意电压与电扇铭牌上的电压是否相符。

3. 用500伏摇表检查风扇电动机绕组是否通地，其绝缘电阻在0.5兆欧以上者方可使用。

4. 检查引出线的绝缘。台扇引线应采用三芯橡皮线或塑料线，并使用三脚插头，台扇的金属外壳要与插头上的接地柱(大脚)可靠地连接，并与地线接牢。特别要注意火线与地线桩头不要弄错。

5. 检查各部分螺钉是否松动，风叶是否装牢，防护罩有无松动或擦叶现象，风扇头子是否灵活，电扇轴承有无松动等。

6. 吊扇的风叶装置高度以离地面2.5～3米为宜。装用时，应注意不要将成套供应的吊杆任意截短，因为吊杆太短时，过于

靠近天花板会影响吊扇的风量。

7. 吊杆的挂钩和各种机件应十分牢固可靠，以免脱落造成事故。同时，吊扇的挂钩上最好装上橡皮圈，以减少吊扇运转时的振动。

8. 安装电扇时，应特别注意不要碰撞或改变扇叶的角度。实践表明，电扇风叶和网罩的变形是运转故障的最大原因。当风叶变形后，可以这样来校正：用手拨动风叶旋转，使各片叶子前端到防护罩前面某一点的距离相等，再校正各片风叶后端到防护罩后面某一点的距离，使其距离相等，这就完成了风叶平面的校正。

如果几片风叶的重量不平衡，可用下述方法检查校正：将风叶套在轴上，然后用手将风叶拨转，当风叶静止后，将下面的风叶作上标记，如此试验几次，若某一片风叶总是停在下面，则说明这一叶片重了些。此时，可将这片风叶作适当修剪以减轻其重量，使其达到平衡为止。

9. 电风扇使用1～2年后，应更换轴承中的润滑油。每年使用前，要拔出油眼的塑料油塞加入轻油（或变压器油、缝纫机油）数滴。摇头齿轮箱中的润滑脂也要定期更换。而台扇通常采用青铜石墨含油轴承，可以连续运转数百小时而不需加油。

10. 移动台扇时，应握住提攀或机座，不可随意拎提电动机的电源引线。

11. 风扇能够长期连续运转，在使用过程中，温度会有所升高。2小时后，温度基本上不再升高。对于E级绝缘的电风扇电动机，温度高达120℃还能正常运行，其外壳表面温升不超过30℃。例如环境温度为40℃，则风扇外表面温度高达70℃仍可正常运行。

12. 为了保持电扇外表的清洁美观，可用浸湿了肥皂水的软布抹去油污，然后用干软布将外壳擦干，再用打光蜡打光。切勿使用酒精、汽油或苯等溶剂揩擦，以免损伤油漆，致使外表失去光泽。

13. 电扇长期搁置不用时，应仔细清除电扇上的灰尘油污，然后用纸盒装好放在通风干燥的地方，避免放在有腐蚀性气体的地方。吊扇长期不用时，应拆下其叶片包装好，还要将与电源的连接线拆开，使电扇电动机完全脱离电源，并用绝缘胶布将接线头包扎好，否则，若误将开关拉通，使电动机长期空转，这样，不仅浪费了电力，还可能导致电动机烧毁。

第八节 电风扇的常见故障及其电动机绕组技术参数

一、电风扇常见故障及其处理方法

了解电风扇的常见故障及其处理方法是十分必要的。下面举例说明。

〔例〕 一台FT-400mm交流电容式台扇，额定电压为220伏，电源频率为50赫兹，三速，能自动摇头。

故障：

1. 电风扇在慢速档运行正常，但当揿下琴键开关至中速、快速档时，电风扇反转。

2. 电风扇燥声大。

〔分析〕：

1. 反转的分析和处理

依照实物绘出该台扇的电气接线图，如图3-8-1所示。由图3-8-1可见，此台扇是电抗线圈抽头调压的电容运转式单相电

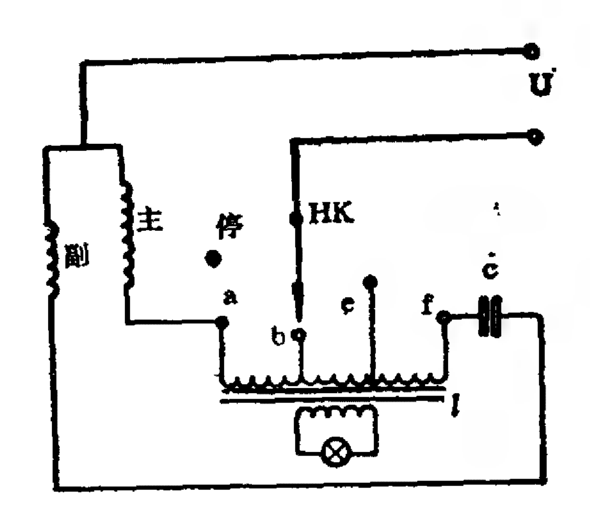


图3-8-1 台扇电气接线图

动机。由于它是在正常运转中发生反转现象的；因此，可以断定不是绕组端头接反，而可能是由于电容器C损坏造成的。根据这个分析，用万能表检查，发现电容器C被击穿，更换电容器之后，中速和高速时的反转现象消除。

既然电容器C被击穿，那么电扇为什么还能自行起动呢？为什么电容器C损坏会使电扇在中速和高速时反转呢？

从图3-8-1可见，电容器C被击穿后，C失去了作用，但电动机起动回路仍然是通的。当琴键开关揿到慢速档（即调速开关HK接在图中e位置）时，起动回路由电抗器线圈L的$\overline{ef}$段与副绕组串联。而运行回路则是由主绕组与电抗器线圈的$\overline{ae}$段串联。很显然，起动回路的电抗要小于运行回路的电抗，这就造成了副绕组电流与主绕组电流之间的相位差，当这个相位差足够大时，电动机就能产生与两相电流性质相同的旋转磁场，（参见图2-2-2）。从而使电动机得以起动。此时，由于副绕组电流导前于主绕组电流，所以电风扇朝正常方向旋转。

当揿下琴键开关至快速或中速档时，调速开关接在a点或b点，则运行回路就只有主绕组本身（中速档时，运行回路由

主绕组与电抗线圈的$\overline{ab}$段串联)，而起动回路则是副绕组与电抗线圈的$\overline{af}$段串联(中速档时，起动回路是由副绕组与电抗线圈的b f 段串联)。显而易见，起动回路的电抗将大于运行回路的电抗，则副绕组电流便滞后于主绕组电流，因而使电动机朝相反的方向旋转，电风扇便反转。

2.噪声大的分析和处理

拆开电动机，发现转轴与转子松动(窜轴)，需要更换转轴。更换转轴的方法是：用小压床把转轴套在套筒里，如图3-8-2所示。从轴头往下压，慢慢将转轴压出转子，然后再把新轴压进去。必须注意，要做好套筒，以免在压转轴时损坏转子。

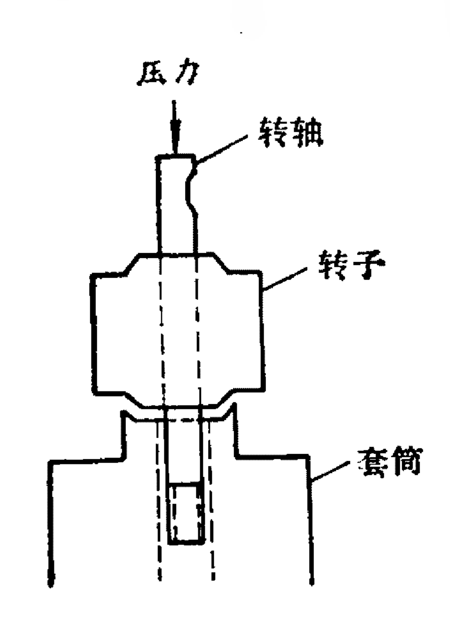


图3-8-2 在压床上把转轴压出去

电风扇常见故障及其处理方法见表3-8-1。

二、电风扇电动机绕组技术参数

电风扇单相电动机绕组的技术参数见表3-8-2。

各种牌号吊扇、台扇技术数据见表3-8-3。

杂牌吊扇、台扇线圈参考数据见表3-8-4。

表3—8—1　　电风扇常见故障及其处理方法

序号	故障现象	产生原因	处理方法
1	电扇不能起动	（1）定子绕组断路 （2）罩极绕组接触不良 （3）电容器损坏 （4）电源插头接触不良 （5）电扇两端轴承太紧 （6）轴承磨损引起定子与转子相碰	（1）将断路处接通或更换新绕组 （2）查出接触不良点，重新焊牢 （3）换符合规格的电容器 （4）修复或更换新插头 （5）用活络绞刀适当绞松轴承孔 （6）更换轴承
2	电扇发热严重	（1）定子与转子间气隙内有杂物卡住 （2）缺少润滑油 （3）绕组短路 （4）台扇前后盖风道堵塞 （5）绕组极性接反 （6）新配轴承与转轴配合过紧 （7）摇头部分不灵活	（1）清除杂物 （2）加润滑油 （3）重绕绕组 （4）清理风道 （5）纠正绕组接头极性 （6）用活络绞刀适当绞松轴承孔 （7）修理摇头机构
3	电扇有时转有时不转	（1）进线损坏或折断 （2）连接线焊接不良 （3）电容器接线接触不良 （4）主绕组或副绕组断路 （5）开关内部零件接触不良 （6）摇头零件配合过紧	（1）更换进线 （2）重新焊接 （3）重新焊牢 （4）接通电路，或更换新绕组 （5）修复开关 （6）修配过紧零件

续表 1

序号	故障现象	产生原因	处理方法
4	电扇运转时杂声较大	（1）定子与转子平面不齐 （2）定、转子气隙内有杂物 （3）轴向移动大（转子前后伸缩） （4）风叶变形或不平衡 （5）风叶顶紧螺钉支得不好 （6）调速电抗器铁芯片松动 （7）轴承过松、损坏或油不足	（1）将定子与转子平面对齐 （2）清除气隙内杂物 （3）垫以适当的尼龙垫圈或纸柏垫圈 （4）校正风叶或更换新风叶 （5）注意风叶位置、旋紧顶紧螺钉 （6）紧牢铁芯螺杆 （7）更换轴承或加油
5	电扇外壳带电	（1）电源进线碰壳 （2）绕组绝缘老化、导线与外壳相碰 （3）绕组烧坏	（1）重新包好绝缘 （2）更换新绕组 （3）重绕绕组
6	电扇运转时振动较大	（1）风叶不平衡 （2）轴伸头弯曲 （3）风叶套筒与转轴公差大	（1）校正风叶 （2）校直或更换转轴 （3）换套筒或更换风叶
7	电扇转速太慢	（1）绕组线圈接头接反 （2）电容器损坏 （3）电容器错接在主绕组回路中	（1）纠正接线 （2）更换电容器 （3）将电容器改接在副绕组回路

续表 2

序号	故障现象	产 生 原 因	处 理 方 法
7	电扇转速太慢	(4)绕组匝数过多或导线过细 (5)绕组匝间短路 (6)电源电压过低 (7)吊扇平面轴承损坏或缺油 (8)吊扇转子下沉	(4)查明绕组数据重新绕制 (5)更换短路绕组 (6)如有条件，采用调压器升压 (7)更换平面轴承或加油 (8)调整至原位，并注意定、转子平面对齐
8	电扇调速失灵	(1)转换开关接触不良 (2)调速电抗器或调速绕组损坏 (3)调速电抗器或调速绕组出线焊接不良	(1)检修调速开关 (2)更换电抗器或调速绕组 (3)重新焊牢
9	台扇不摇头	(1)连杆横担损坏 (2)齿轮磨损，失去传动能力 (3)连杆开口销脱落或断掉 (4)摇头传动部分不灵活、转不动 (5)摇头缺少偏心轮垫圈	(1)更换连杆 (2)更换磨损齿轮 (3)重配开口销 (4)重新装配、擦洗并加油 (5)装偏心轮垫圈
10	新型台扇不摇头	(1)摇头拉线部位不正及摇头拉线损坏 (2)滚珠在连接头内卡住	(1)更换摇头拉线 (2)检查滚珠孔内弹簧或重新装配

续表 3

序号	故障现象	产生原因	处理方法
10	新型台扇不摇头	(3)离合器弹簧断裂 (4)离合器下面滚珠脱落 (5)齿轮箱内离合器上端弹簧较松、离合器不能啮合 (6)软轴钢丝接头脱焊 (7)软轴钢丝两头套筒夹紧螺钉松动 (8)紧定螺钉旋得太紧 (9)台扇倾斜、运转时角度盘打滑 (10)角度盘滚珠脱落、弹簧嵌入角度盘内	(3)更换弹簧 (4)重新装上滚珠 (5)将原来弹簧拉长一些，若不行，则更换弹簧 (6)重新焊牢 (7)将软轴两头套筒纳入槽里，然后旋紧螺钉 (8)适当放松 (9)将角度盘边缘上的红标志线对准紧定螺钉，然后旋紧 (10)配上滚珠，重新装配好
11	揿拔式摇头钮按下时，台扇不摇头	摇头机构齿轮损坏	换上相同规格的零件、重新装配
12	台扇有时摇头，有时停一下再摇头	(1)摇头传动部分不灵活 (2)摇头机构罩边磨损	(1)擦洗传动机构、并加油 (2)更换已磨损的零件
13	电容式电扇运转不正常或有时倒转	(1)电容器被击穿 (2)起动绕组开路 (3)绕组方向接反	(1)更换电容器 (2)重新接线 (3)纠正接线

续表 4

序号	故障现象	产生原因	处理方法
14	台扇琴键开关1、2、3档中任何两档被同时扣住	琴键开关的自锁片失去作用或脱落	重新装配或更换自锁片
15	台扇琴键开关1、2、3揿下，但不通电	(1)通电导线与开关脱头 (2)通电簧变形，与通电片不接触	(1)重新焊牢 (2)将通电簧弯好，使其与通电片良好接触
16	塑料按钮与开关脱开	脱胶	可用万能胶重新粘合
17	电扇在运转时或起动时冒火花	(1)绕组碰壳 (2)主、副绕组间绝缘损坏 (3)电源进线碰壳 (4)绕组受潮	(1)找出碰壳处，重新处理绝缘。或更换新绕组 (2)重新绝缘或更换绕组 (3)包扎绝缘 (4)重新干燥直至绝缘电阻合格为止
18	电扇定时开关失灵	(1)时间继电器接线脱头或损坏 (2)指示座开关损坏	(1)重新焊接或更换时间继电器 (2)修理开关或更换
19	电扇在运转时指示灯不亮	(1)灯泡损坏 (2)灯座螺口太松 (3)灯座与电抗器引线接头脱落或接触不良	(1)更换灯泡 (2)更换灯座 (3)整理重焊

表3—8—2 电风扇单相电动机绕组的技术参数

型号及规格(毫米)	频率(赫)	电压(伏)	主绕组		副绕组		电容器规格		铁芯长度(毫米)	绕线模尺寸图
			线径(毫米)	每线圈匝数	线径(毫米)	每线圈匝数	容量(微法)	交流工作电压(伏)		
电容式台扇 250 FT24～27	60	110	0.250	450	0.17	780	2	250	20	35, 4.5, R3.5, 34
	60	110/120	0.250	467	0.17	760	2	250	20	
	50	110	0.250	455	0.19	710	2.5	250	20	
	50	190/200	0.190	825	0.17	980	1.2	400	20	
	50	220	0.170	935	0.15	1020	1	500	20	
	50	230	0.190	850	0.17	900	1	500	20	
	50	110/220 两用	0.170	935	0.15	1020	1	500	20	
电容式台扇 300 FT24～27	60	110	0.315	295	0.21	640	2	400	26	41, 4.5, R3, 34
	60	110/120	0.315	305	0.21	640	2	400	26	
	50	110	0.315	295	0.21	640	2	400	26	
	50	190/200	0.170	634	0.19	620	2	400	26	
	50	220	0.170	634	0.19	620	1.5	400	26	
	50	230	0.210	680	0.17	840	1.2	400	26	
	50	110/220 两用	0.170	634	0.19	620	1.5	400	26	

续表 1

型号及规格（毫米）	频率（赫）	电压（伏）	主绕组		副绕组		电容器规格		铁芯长度（毫米）	绕线模尺寸图
			线径（毫米）	每线圈匝数	线径（毫米）	每线圈匝数	容量（微法）	交流工作电压（伏）		
电容式台扇 350 FT24～27	60	110	0.270	258	0.23	465	3	250	32	47, 4.5, R3, 34
	60	110/120	0.270	275	0.23	465	3	250	32	
	50	110	0.315	280	0.23	560	3	250	32	
	50	190/200	0.250	490	0.19	700	1.5	400	32	
	50	220	0.230	560	0.19	790	1.2	400	32	
	50	230	0.230	600	0.19	810	1.2	400	32	
	50	110/220 两用	0.230	560	0.19	790	1.2	400	32	
电容式台扇 400 FT24～27	60	110	0.345	232	0.25	415	3.5	250	32	47, 4.5, R3, 34
	60	110/120	0.345	230	0.25	410	3.5	250	32	
	50	110	0.345	243	0.23	479	3.5	250	32	
	50	190/220	0.250	475	0.19	790	1.5	400	32	
	50	220	0.230	530	0.17	890	1.2	400	32	
	50	230	0.230	560	0.19	850	1.2	400	32	
	50	110/220 两用	0.230	530	0.17	890	1.2	400	32	

续表 2

型号及规格（毫米）	频率（赫）	电压（伏）	主绕组		副绕组		电容器规格		铁芯长度（毫米）	绕线模尺寸图
			线径（毫米）	每线圈匝数	线径（毫米）	每线圈匝数	容量（微法）	交流工作电压（伏）		
罩极式台扇 200 FHT$_3$	60	110	0.315	470					32	42 30 R2 5
	50	110	0.190	1050并联					32	
	50	190/220	0.210	930					32	
	50	220	0.190	1050					32	
	50	230	0.190	1100					32	
罩极式台扇 300 FHT	50	110	0.270	510并联	无指示灯				32	40 27 R2.5 6
	50	220	0.270	510	有指示灯	简易式			32	
	50	220	0.270	490					32	
罩极式台扇 400 FHT	50	110	0.410	450并联	无指示灯				32	31 40 R3 10
	50	220	0.410	450	有指示灯				32	
	50	220	0.410	420					32	

续表 3

型号及规格（毫米）	频率（赫）	电压（伏）	主绕组		副绕组		电容器规格		铁芯长度（毫米）	绕线模尺寸图
			线径（毫米）	每线圈匝数	线径（毫米）	每线圈匝数	容量（微法）	交流工作电压（伏）		
电容式台扇 350 FT	50	190/200	0.210	660	0.15	990	1.2	400	34	32, R3, 46, 5.5
	50	230	0.190	685	0.15	976	1	500	34	
电容式台扇	50	190/200	0.230	510	0.17	856	1.2	400	34	32, R3, 46, 5.5
400	50	220	0.320	555	0.15	955	1	500	34	
FT	50	230	0.210	630	0.19	780	1.2	400	34	
罩极式吊扇 900 FHC	60	110/120	0.380	536并联					30	23, 44, 20
	50	110	0.380	550并联					30	
	50	190/200	0.410	490					30	
	50	220	0.380	550					30	
	50	230	0.380	575					30	

续表 4

型号及规格（毫米）	频率（赫）	电压（伏）	主绕组		副绕组		电容器规格		铁芯长度（毫米）	绕线模尺寸图
			线径（毫米）	每线圈匝数	线径（毫米）	每线圈匝数	容量（微法）	交流工作电压（伏）		
电容式吊扇 1200 FC_2	50	190/220	0.290	220	0.25	300	2.4	400	25	
	50	220	0.270	280	0.25	328	2	400	25	
	50	110	0.410	120	0.27	290	3.5		25	
电容式吊扇 1400 FC_2	50	110	0.410	120	0.27	290	3.5	250	23	43; 21.5; 34; 11
	50	190/200	0.290	229	0.25	325	2.4	400	25	
	50	220	0.270	280	0.25	328	2.4	400	25	
	50	230	0.270	268	0.23	345	2	400	25	

表3—8—3 各种牌号吊扇和台扇技术数据

型号、规格及名称	电压(伏)	主绕组		副绕组		绕组只数		电容器规格(微法)	铁芯长度(毫米)
		线径(毫米)	匝数	线径(毫米)	匝数	主绕组	副绕组		
CC型56英寸(1400毫米)吊扇 1951年	220	0.290	250	0.315	210	18	18	4	32
	110								
1400毫米、西瓜式电容吊扇 1963年	220	0.310	220	0.254	310	18	18	2	32
	110	0.440	110	0.254	310	18	18	3	32
JO型0.15千瓦变压器风扇 1960年	220	0.290	540			6			35
57AD400毫米罩极台扇 1957年	220	0.350	460						
	110	0.350	460(并联)						
300AD罩极台扇 1961年	220	0.250	630						32
	110	0.250	630(并联)						
400AD罩极台扇 1961年	220	0.380	460						36
	110	0.380	460(并联)			4			

续表 1

型号、规格及名称	电压(伏)	主绕组		副绕组		绕组只数		电容器规格(微法)	铁芯长度(毫米)
		线径(毫米)	匝数	线径(毫米)	匝数	主绕组	副绕组		
QB型400毫米电容台扇 1961年	220	0.230	580	0.213	730	4	4	2	26
		0.290	268	0.213	560	4	4	4	26
	110	0.310	275	0.213	505	4	4	3.5	26
QB型350毫米电容台扇 1961年	220	0.210	590	0.193	780	4	4	1	26
	110	0.290	294	0.274	390	4	4	5	26
1861—1型180毫米微型风扇 1961年	220	0.150	1500						25
	110	0.150	1500(并联)						
BY型150毫米仪表扇(罩极式) 1956年	110/220	0.150	1500						25
250毫米罩极台扇	220	0.250	700						
4061—17 400毫米电容掌座台扇	190/220	0.250	500	0.210	670			25	
	220	0.230	580	0.210	730			2	

续表 2

型号及规格（毫米）	电压（伏）	频率（赫）	线径（毫米）	匝数	绕组只数	线重（公斤）	备注
台扇16AD 400	230	50	0.410	480	4	0.987	双进火
	120	50	0.410	520	4	1.047	
台扇16AE 400	210	50	0.470	400	4		转速700转/分
	105	50	0.470	400	4		双进火
台扇 16AL—37 400	210—230	50	0.410	380	6		转速890转/分
	130	50	0.470	230	6		转速870转/分
台扇 16AL—54 400	105	50	0.410	360	6		双进火、转速910转/分
	210	50	0.410	360	6		转速882转/分
	210	50					转速878转/分
吊扇 36AC 900	210	50	0.916	175	14	1.00	转速400转/分
	230	50	0.470	205			
	120	50	0.620	100			
	220—200	50	0.470	200			
	230	50	0.470	200			单纱漆包线
	220—200	50	0.470	185			
	130	50	0.620	113			

续表 3

型号及规格（毫米）	电压（伏）	频率（赫）	线径（毫米）	匝数	绕组只数	线重（公斤）	备注
吊扇 42AC 1200	105	50	0.720	80	14	1.063	单纱漆包、转速360转/分
	210	50	0.510	150	14	1.215	
	230	50	0.510	170	14	1.375	
	120	50	0.720	90	14	1.625	
吊扇36CC 900	210	50	0.290	360		2.5	转速375
吊扇42CC 1200	210	50	0.310	300		3.0	转速350
	105	50	0.550	230	12	1.930	双进火
	230	50	0.550	250	12	2.203	
	120	50	0.510	275	12	1.875	
	210	50	0.550	230	12	1.930	转速210转/分

表3—8—4 各种杂牌吊扇和台扇线圈参考数据表

一、杂牌吊扇线圈参考数据表

型式	尺寸	电压	极数	线圈数	每只线圈匝数	线径	备注
华生罩极	36″	220伏	14	14只	195匝	0.47毫米	手绕式
电容式	56″	220伏	18	36只	195～205匝	0.35，0.31毫米	细线接电容器
罩极式	56″	220伏	14	12只	260匝	0.55毫米	顺接头
罩极式	56″	220伏	28	14只	240匝	0.55毫米	顺接头
罩极式	56″	220伏	24	24只	120匝	0.55毫米	反接头

二、杂牌台扇线圈参考数据表

型号、名称	尺寸	电压	极数	槽数	主绕组匝数、线径	副绕组匝数、线径	起动方式	备注
惠司丁、爱姆生	12″	220伏	4	24	600匝 0.29毫米	800匝，0.15	自耦分相式	塔形线圈
惠司丁、爱姆生	16″	220伏	4	24	500匝 0.35	700匝，0.19	自耦分相式	塔形线圈
华生、奇异	16″	220伏	4		440匝 0.41		罩极式	方线圈
华南、（老式）	16″	220伏	4		440匝 0.41		”	”
华生（新式）	16″	220伏	4		450匝 0.38		”	”
晋　华	16″	220伏	4		460匝 0.38		”	”
华生、华南	16″	220伏	6		360匝 0.47		”	
奇　异	8″	220伏	4		600匝 0.23		”	
落　地	12″	110伏	4		150匝 0.51			

第九节 单相异步电动机的常见故障及其处理

单相异步电动机可能发生的故障，与三相异步电动机相似。绕组方面的故障主要有断路、短路、接地和绕组接错等；机械方面的故障主要有轴承损坏、转轴弯曲变形和端盖缺损等。

单相异步电动机的故障，与三相异步电动机比较，也有其独特的地方，这就是单相异步电动机常常出现难以起动和在运行中容易过热的现象。这是由于单相异步电动机在结构上具有下述三个特点所致。

1. 单相异步电动机具有起动绕组及起动电容器等元件。

2. 单相异步电动机带有起动装置（离心开关或起动继电器)。

3. 单相异步电动机的容量小，其定子与转子间的气隙也小。

一、单相异步电动机不能起动

单相异步电动机不能起动，原因很多，可能是(1) 电源电压太低；(2) 绕组断路；(3) 绕组短路或者接错；(4) 严重过负荷；(5) 转子断路；(6) 电容器损坏或电容量不足；(7) 罩极绕组接头松脱或罩极环开裂；(8) 起动装置（离心开关或起动继电器）故障；(9) 转轴弯曲变形；(10)轴承损坏；(11)端盖装配不正等。下面仅对第 (6)、第 (7)和第(8) 进行讨论。

1. 对于电容式电动机，由于电容器损坏而造成电动机不能起动是屡见不鲜的。遇到这种情况，应首先对电容器进行检查。1微法以上的电容器，根据其充放电特性，可用万用表来进行检查：首先将万用表的转换开关倒在电阻1KΩ（或10KΩ）档，

然后用两支表笔接触电容器的两个接线端（若是电解电容器，则应注意其极性），观察万用表指针的摆动情况：

（1）若万用表指针不摆动，则说明电容器断路；

（2）若万用表指针大幅度摆动至电阻的零位后，不再返回，则说明电容器有了短路；

（3）万用表指针大幅度地向电阻为零的方向摆动，然后指针慢慢返回到某一电阻数值（一般为几百千欧以上），则表示电容器是好的；

（4）若万用表指针的摆动幅度较小，则说明电容器的电容量变小了。

引起电容器发生故障的原因主要有：

（1）电容器的工作电压或电容量选小了，引起电容器的绝缘介质击穿而造成电容器短路；

（2）电源电压过高，将电容器击穿造成电容器短路，电容器短路后，将造成副绕组回路电流过大，使副绕组过热甚至烧毁；

（3）电容器保管不善，使电容器受潮，也引起电容器短路；

（4）电容器引出线松脱，造成副绕组回路开路。

（5）长期不用或使用很长时间后，电解电容器的电解质干涸，致使电容器的电容量显著减小。

2．对于罩极电动机，当电动机不能起动时，应首先检查罩极绕组是否断路（如绕组焊接头松脱），罩极环是否开裂，然后根据情况进行处理。

3．起动装置故障：起动装置的故障是引起单相异步电动机不能起动的主要原因之一。在这种情况下，应对起动装置进行检查。

如果起动装置是离心开关，则应检查电动机静止和低转速

时，其触头是否接触良好。这可以在静止时用万用表的电阻档测量，然后用手拨动电动机轴旋转，同时用万用表测量离心开关触头是否接触良好。若是发觉开关离心触头接触不良，应将电动机拆开，进一步检查离心开关。

如果起动装置是继电器的话，可将起动继电器与副绕组串联的两个触头短接，然后合上电源，若电动机能起动，则说明是起动继电器的触头接触不良，这可能是由于继电器触头损坏，铁芯线圈产生的电磁力不足，或是弹簧失效所引起的。此时应逐一找出故障原因，然后对症下药。

二、单相异步电动机的过热

造成单相异步电动机过热的主要原因有：

（1）电源电压过高或过低；

（2）电动机过负荷运行；

（3）轴承损坏，轴承太紧或太松；

（4）转轴弯曲变形，造成转子与定子“扫膛”；

（5）端盖装配不当，使电动机转动不灵活；

（6）绕组发生短路；

（7）电容运转式电动机在运行中，电容器发生短路故障时，则使电动机副绕组电流超过其额定值而引起电动机过热。

实践表明，造成单相异步电动机过热的原因多数是出于机械方面的故障，这是因为单相异步电动机容量小，定子与转子之间的气隙也小，同时起动转矩也小，因而电动机的各部件稍有不合适，如端盖与转轴间有灰屑、轴承不干净、端盖装备稍有不正等，均将使阻力矩增大，致使电动机严重过负荷。

由于滑动轴承具有构造简单、成本低廉、运行平稳、能承受较大负荷。损坏后能自行车制等优点，所以单相异步电动机（特别小容量的多采用滑动轴承。滑动轴承分整体圆筒形和上

下两瓣式两种形状。圆筒形滑动轴承又分带轴衬的和不带轴衬的两种。单相异步电动机所采用的是甘油润滑的不带轴衬的圆筒形滑动轴承。

圆筒形轴承用青铜或黄铜制成圆形衬套，青铜质地坚固，紧密而平滑，负荷表面压力高，每平方厘米能承受40～60公斤。但青铜料源较少，因而价格较贵；黄铜的性能不如青铜好，但它的料源丰富，因而价格低廉。

实践表明，运行时间长了，由于圆筒形滑动轴承的磨损，往往造成轴承与轴的配合间隙增大，若间隙超过了允许值，则需更换新轴承：用铜棒直接在车床上加工，车出与原来要求相同形状和尺寸的圆筒形滑动轴承。

此外，在修理过程中，重绕绕组时，误将导线截面积取小了，使绕组的电阻增大，铜损增加，引起电动机过热。也有可能粗枝大叶，将绕组的匝数绕少了，使单相异步电动机的空载电流增大，此时，只要稍带负荷，便使电动机电流超过额定值，因而引起电动机过热。

在正常状况下工作的电动机，若是电机内灰尘太多，风道阻塞，使进风量减少，或环境温度太高等原因，也将引起单相异步电动机过热。

综上所述，单相异步电动机运行时，应经常注意监视其温升情况：可先用试电笔检查确定电动机外壳不带电后，再用手背贴在电动机外壳上，若没有烫得缩手的感觉，则说明电动机没有过热；若烫得人立即缩手，则表明电动机已经过热。

三、铁芯的表面损伤及其修理

由于单相异步电动机定子与转子之间的空气隙非常小（一般在0.15～0.35毫米之间），因此，若遇到轴承磨损超限、负载过重、或受到冲击使转轴稍微弯曲等原因，便会引起转子与定子

"扫膛"，轻则使铁芯表面擦伤；重则将铁芯严重损坏，造成绕组短路烧毁。但在实际工作中，常常遇到的多是铁芯表面被擦伤。被擦伤处的硅钢片被退火而呈蓝色，有时还在蓝色的边缘出现一圈紫红色，这就降低了硅钢片的导磁率；另一方面，硅钢片的端面被磨成毛面，毛刺向两边伸延，使硅钢片形成表面短路，使铁芯的涡流损失增大，埋下隐患，如不及时处理，则随着铁芯绝缘老化，短路范围扩大，涡流损失增加，温升增高，甚至烧坏绕组和铁芯。

遇到上述情况，可用三角刮刀将硅钢片端面的毛刺刮去，并在铁芯表面涂上一层薄薄的绝缘漆。如果硅钢片的齿部有些松动，则可在硅钢片的缝隙之间插入0.03～0.05毫米厚的云母片，这样，一则造成硅钢片间的绝缘，杜绝由于片间短路所形成的涡流；二则增强了铁芯齿部的机械强度。

有时，绕组对地击穿，或绕组发生接地故障，产生电弧将铁芯表面烧坏。实践表明，烧损位置多发生在铁芯槽口、槽壁和槽底，特别是槽口。

被烧损的铁芯表面，有的地方凹陷，有的地方凸起，这无疑将影响嵌线，同时也容易形成铁芯表面短路。

对铁芯烧损表面的处理，可用锐利的小凿将熔积在烧损表面的熔融物剔除，然后用三角刮刀将硅钢片端面的毛面刮去，再涂上一层薄薄的绝缘漆。

四、单相异步电动机转速低于额定值

和三相异步电动机一样，单相异步电动机转速低于额定值主要是由于电动机主绕组短路或接错，电动机过负载，电源频率和电压过低，转子断条，转轴弯曲变形或轴承损坏等原因引起的。此外，对于单相异步电动机来说，还可能由于副绕组在起动后未被切除(仅指电阻分相式电动机和电容起动式电动机)

造成转速降低。在这种情况下，将伴随着电动机电流增大、电机发热并使噪音增强。

判断副绕组在电动机起动以后是否脱离电源的办法是：将副绕组与电源连接的一端解开，仅将主绕组接入电源，同时用手拨动电动机转轴，若电动机能达到额定转速且噪音消失，则说明问题是由于副绕组在电动机起动后未脱离电源造成的。

副绕组在电动机起动后不能脱离电源，其原因可能是：

1.起动继电器中弹簧失效，使触头在电动机起动后无法断开；

2.起动继电器或离心开关的触头被烧熔胶着在一起；

3.转轴的轴向位置调整得不当，将离心开关压得太紧，即使电动机起动过程完成后，其触头也无法断开。此时应调整转轴的轴向位置，使之能正确动作。

第四章　单相串激电动机

第一节　概　　述

单相串激电动机起动转矩大、速度可以调整，而且具有串联特性。这种电动机的功率很小，但它可以造成高达40000转/分的转速。因其转速快、效率高，所以它与功率相同的其他型式的单相电动机比较，有较小的体积。由于上述优点，单相串激电动机的应用范围，虽然远不如三相异步电动机和直流电动机广泛，但在要求运行特性具有串联特性，要求高转速，且配电方式又决定了为单相交流电时，就自然而然地考虑采用单相串激式电动机。此时，单相串激电动机便是解决动力问题的重要途径。功率较大的单相串激电动机常用于单相电气铁道；小功率单相串激电动机常用于家庭用电器（如电动缝纫机、地板打蜡机和吸尘机等）、电动工具（如手电钻、电动扳手等）以及实验室的高速搅拌设备。此外还常用于自动远动装置和钟表工业等领域。

单相串激电动机的缺点主要是换向比直流电动机困难。当需要大容量的单相串激电动机时，为改善换向条件，必须采用较低频率的电源。在电气铁道上使用的大功率单相串激电动机，其电源频率有为25赫兹的；也有为$16\frac{2}{3}$赫兹的。在频率为50赫兹的电源上，一般只用功率较小的单相串激电动机。

单相串激电动机是通用式整流子电动机的一种。通用式整

流子电动机的型式很多，也有一定的分类方法，有些电动机也有自身的特点，但限于结构上的复杂性以及在实际中的应用情况，本书仅介绍单相串激电动机。

第二节　单相串激电动机的工作原理

一、单相串激电动机的基本概念

讲到单相串激电动机，便想起直流电动机。为此，我们先简要地谈谈直流电动机的工作原理。

直流电动机的工作原理如图4—2—1所示。图中外施直流电源的正极接在电刷A上，其负极接在电刷B上。图4—2—1(a)

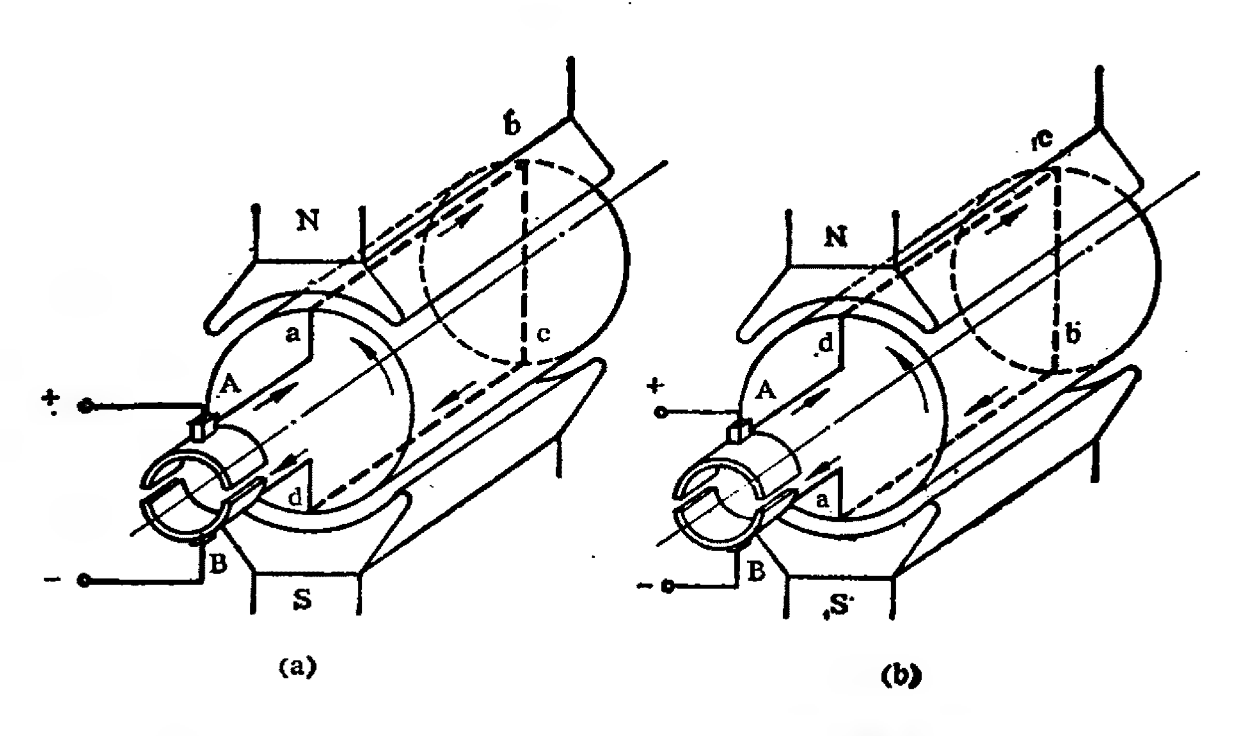


图4—2—1　直流电动机工作原理图

中，线圈abcd的ab边在N极范围内，其电流方向是从a流向b的。而线圈abcd的cd边位于S极的范围内，其中电流方向是从c流向d的。那么该线圈的ab边和cd边都要受到电磁力的作

用，根据电动机左手定则可知，线圈的ab边受力的方向是向左的，而线圈的cd边却是受到向右的电磁力，从而形成转矩，使直流电动机的转子按逆时针方向旋转，如图4—2—1(a)所示。

当线圈边ab旋转到S极范围内时，线圈边cd则旋转到了N极的范围内，由于换向片和电刷的作用，转到N极下的cd边中电流方向也变了，即电流从d流向c；转到S极下的ab边中的电流则是从b流向a。根据左手定则判断，线圈的ab边所受电磁力的方向是向右的，线圈的cd边所受电磁力的方向则是向左的，因而所产生的电磁转矩的方向仍维持不变，从而使电动机的转子仍按逆时针方向继续旋转，如图4—2—1(b)所示。

综上所述，要使直流电动机的转子按照一定的方向旋转，关键问题是利用换向片和电刷的作用，使导体从一个磁极下转到另一个异性磁极下时，导体中电流的方向也同时改变，从而使电动机转子所受电磁转矩的方向不变，这就是直流电动机产生旋转转矩的基本原理。

直流电动机采用串激方式激磁时的原理接线图如图4—2—2(a)所示。装有换向极绕组Д和补偿绕组K的单相串激电动机原理接线图如图4—2—2(b)所示。

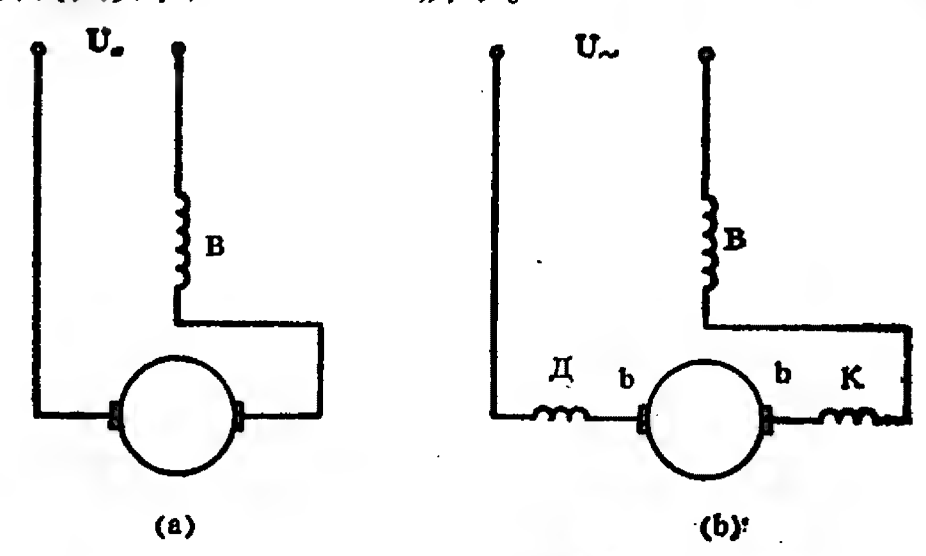


图4—2—2　直流串激电动机与单相串激电动机原理接线图

如果将直流串激电动机接入交流电网中运行，由于电动机的激磁绕组与电枢绕组用同一交流电源供电，因而当电源处于正半周期时，磁场的极性与电枢电流的方向如图4—2—3(a)所示。经过半个周期之后，即电源处于负半周期时，虽然磁场的极性改变了，但是电枢电流的方向也随之改变了，如图4—2—3(b)所示。根据左手定则判断，在这两种情况下，电枢所受电磁转矩的方向不变，因此电动机可以持续旋转。

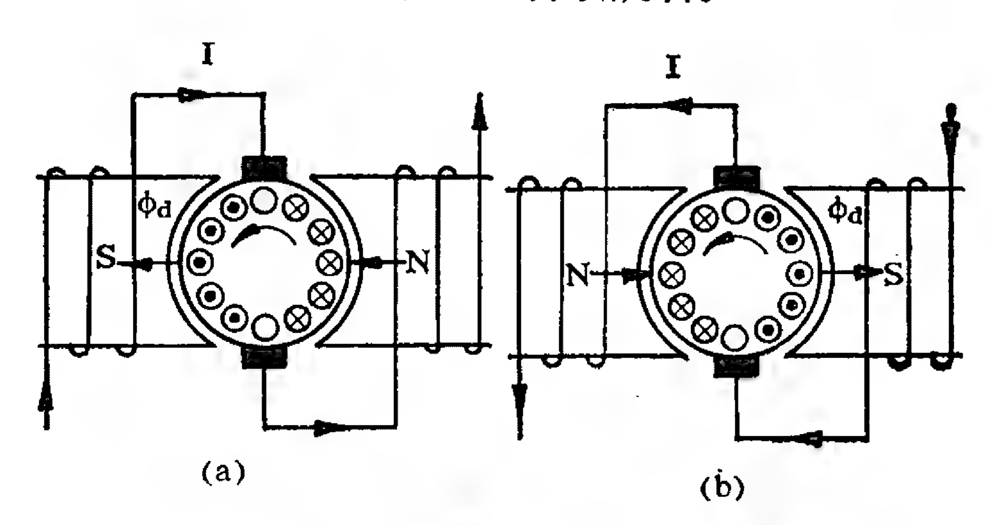


图4—2—3　单相串激电动机工作原理示意图

假定电枢电流 I 和磁极磁通ϕ都是按正弦规律变化的，由于激磁绕组与电枢绕组构成串联回路，因此，激磁电流与电枢电流为同一电流，二者不存在相位差，可以近似地认为磁极磁通 ϕ 与电枢电流 I 之间也不存在相位差。单相串激电动机磁极磁通 ϕ 与电枢电流 I 之间的相位关系及电磁转矩曲线如图 4—2—4 所

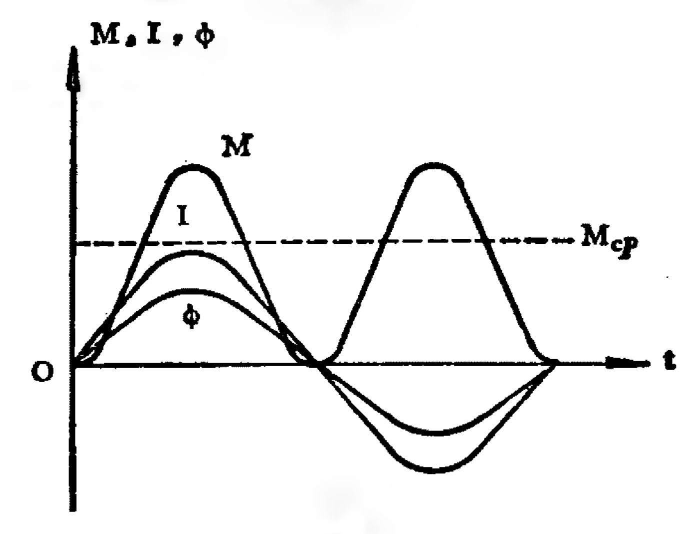


图4—2—4　单相串激电动机的转矩曲线

示。

由电机学理论可知，直流电动机的电磁转矩可用下式确定：

$$M = C_M \phi_d I \quad (4—2—1)$$

式中：C_M——与电动机结构有关的常数；

ϕ_d——磁极磁通（韦伯）；

I——电枢电流（安培）。

公式（4—2—1）同样适用于单相串激电动机。当电源处于正半周期时，单相串激电动机的电磁转矩，由图4—2—4可见，有

$$M = C_M(+\phi_d)(+I) > 0 \quad (4—2—2)$$

当在电源的负半周期时，由图4—2—4可见，电动机的电磁转矩为：

$$M = C_M(-\phi_d)(-I) > 0 \quad (4—2—3)$$

由公式（4—2—2）和（4—2—3）可见，不论是在电源的正半周还是在电源的负半周，单相串激电动机的电磁转矩总是正值，即电磁转矩的方向是恒定的。只不过是转矩曲线以 2 倍电源频率变化，如图4—2—4所示。我们通常所说的单相串激电动机的电磁转矩M是指其转矩的平均值M_{cp}，它等于最大转矩的二分之一。所以，单相串激电动机是交、直流两用的，它既可用于交流电源上，又可用于直流电源上。它用于交流电源上所产生的转矩的平均值与用于直流电源上所产生的转矩相等。

需要指出，上述将直流串激电动机直接接入交流电网中运行时，其运行情况将变得十分恶化，甚至不能运转，这是由于下列原因引起的：

1. 场极铁芯和磁轭中将产生很大的涡流损耗；
2. 在激磁绕组和电枢绕组中将产生很大的电抗电压降；
3. 由于换向元件中的短路电势没有得到补偿，换向将发生

困难，还可能引起严重火花。

因此，要将直流串激电动机作单相串激电动机使用时，除了改善整个磁路系统外，还应在电动机的定子上装设补偿绕组和换向绕组，其原理接线图如图4—2—2(b)所示。

二、单相串激电动机的转速

三相异步电动机或一般单相异步电动机的转速决定于电源频率和电动机的极对数，其同步转速 n 为：

$$n=\frac{60f}{p}\ (\text{转/分}) \qquad (4\text{—}2\text{—}4)$$

式中：f ——电源频率(赫兹)

p ——电动机极对数。

由异步电动机的工作原理可知，当电源频率为50赫兹时，转速最高的两极异步电动机，其转速也低于3000转/分。而单相串激电动机，尽管接入相同频率的交流电源，其转速的高低可按直流电动机的原理来确定：

$$n=\frac{60Ea}{p\phi_d N}\ (\text{转/分}) \qquad (4\text{—}2\text{—}5)$$

式中：E ——串激电动机的反电势(伏)；

a ——电枢绕组并联支路数；

p ——电动机极对数；

ϕ_d——磁极磁通(韦伯)；

N ——电枢总导体数(根)。

从公式(4—2—5)可以看出，只需要改变单相串激电动机的电磁参数就能得到所需要的转速。例如，增大磁极磁通ϕ_d或增多电枢的总导体数N，便可使电动机的转速降低。反之，则转速可以升高。

单相串激电动机的转速愈高，其体积可以做得愈小，重量

也就愈轻。这是因为高速电动机的磁结构(即铁芯)可以缩小，而且转轴上自冷风扇的风量随着转速的提高而增大，导致电动机散热较快。因此，提高转速是缩小电动机体积、减轻重量的主要措施。单相串激电动机具有转速高、体积小的特点，是它在家用电器和电动工具中得到广泛应用的主要原因。

必须指出，由公式(4—2—5)来确定单相串激电动机的转速，在理论上是不受限制的。但是在实际应用中，由于机械强度的限制和换向的困难，单相串激电动机的转速不能无限制升高。

三．单相串激电动机的向量图

由图4—2—2(b)可见，单相串激电动机的电路为一单纯的串联回路，它的电压方程式可以简化为：

$$U=(r+jx_{\partial})-E_{tp}-E_{np} \qquad (4—2—6)$$

式中：U——外施电压(伏)；

I——电动机电流(安培)；

r——电动机各绕组的总电阻(欧)；

x_{∂}——电动机各绕组的总漏抗(欧)；

E_{tp}——电动机主磁通在激磁绕组中所感应的变压器电势(伏)；

E_{np}——电动机主磁通在电枢绕组中所感应的旋转电势(伏)。

根据公式(4—2—6)，我们可以作出单相串激电动机的向量图，如图4—2—5所示。以磁极磁通ϕ_d为基准向量。磁极磁通ϕ_d是由电枢电流I所激励的。由于铁芯损耗的影响，使得磁极磁通ϕ_d滞后于电枢电流I一个微小的相角θ。ϕ_d在激磁绕组中感应出一个变压器电势E_{TP}，E_{TP}滞后于ϕ_d90°相角。同时，由于电枢旋转而切割磁极磁通ϕ_d时，在电刷bb间便感生一旋转电势E_{np}。根据电机学中直流电枢在脉动磁场中的理论分析可知，此

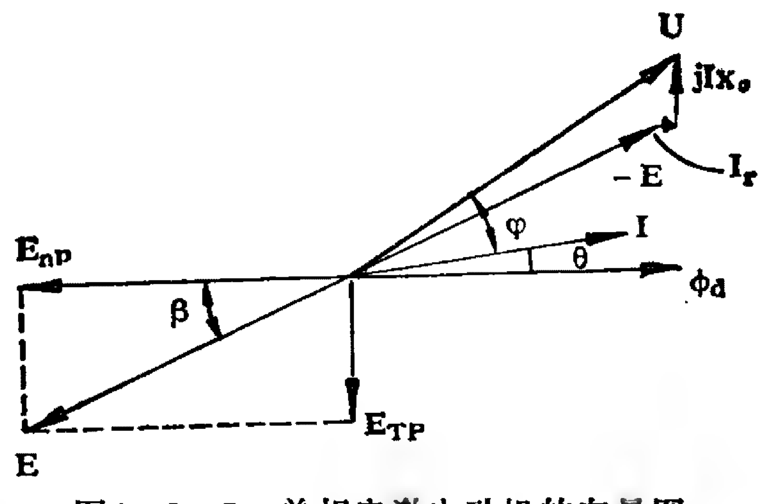


图4—2—5　单相串激电动机的向量图

处旋转电势E_{np}应取与磁极磁通ϕ_d的相反方向。图中E为E_{Tp}和E_{np}的向量和，E称为合成反电势。外施电源电压U除了克服合成反电势E外，尚需供给各绕组的总电阻电压降Ir和各绕组的总漏抗电压降jIx_0。图4—2—5中负载电流I滞后于外施电压U的相位角φ，就是单相串激电动机的功率因数角，它决定着单相串激电动机功率因数cosφ的高低。

由向量图4—2—5可见，单相串激电动机工作于滞后的功率因数。当电源频率f降低时，则各绕组漏抗压降就会减小(因为$jIx_0 = jI\times2\pi fL_0$)，那么外施电压U与负载电流I的功率因数角φ随之减小，从而使电动机的功率因数得以提高。

当电动机的转速愈高时，电枢切割磁极磁通的速度愈快，则电枢绕组中所感应出的旋转电势E_{np}也就愈高，合成反电势E不但数值增大，而且E与E_{np}的夹角β也随之减小，亦即外施电压U与负载电流I之间的相位角φ减小，这样也就提高了单相串激电动机的功率因数cosφ，如图4—2—5所示。

四、单相串激电动机的特性

在电源电压恒定的情况下，单相串激电动机的特性一般可用下列三条特性曲线来表示：

1. 电动机的转矩M与电枢电流I的关系曲线M = f(I)；

2. 电动机的转速n与电枢电流I的关系曲线n = f(I)；

3. 电动机的机械特性，即电动机的转速n与转矩M的关系曲线n = f(M)。

下面就这三条特性曲线分别进行讨论：

1. 电动机的转矩M与电枢电流I的关系曲线M = f(I)

公式(4—2—1)写出了直流电动机的电磁转矩表达式为$M = C_M I \phi_d$，可见直流电动机的转矩M决定于电枢电流I与磁极磁通ϕ_d的乘积。在单相串激电动机中，因为电枢绕组和激磁绕组是通过的同一个电流I，所以磁极磁通ϕ_d又决定于电枢电流I，如图4—2—6中的单相串激电动机的磁化曲线$\phi_d = f(I)$所示。在磁路未饱和时，即图中磁化曲线的直线段，磁极磁通ϕ_d与电枢电流I是成正比关系的。因此，电动机的转矩M便与电枢电流I的平方成正比关系，

即　　$M \propto I^2$

转矩M与电枢电流I的关系曲线M = f(I)如图4—2—7所示。曲线中，转矩M随电流I的增大而增大。在电流I较大时，由于磁路饱和的影响，电枢电流继续增大时，转矩M的上升变得缓慢了。

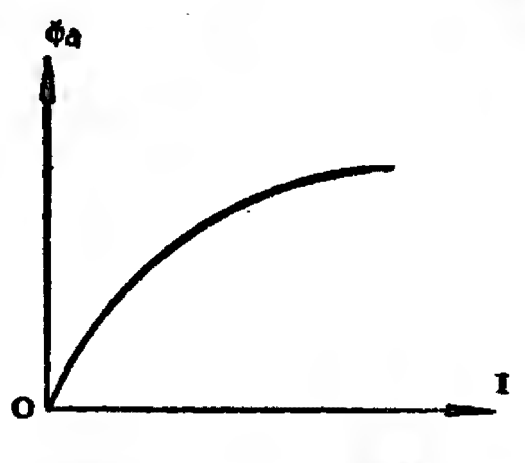


图4—2—6　单相串激电动机的磁化曲线

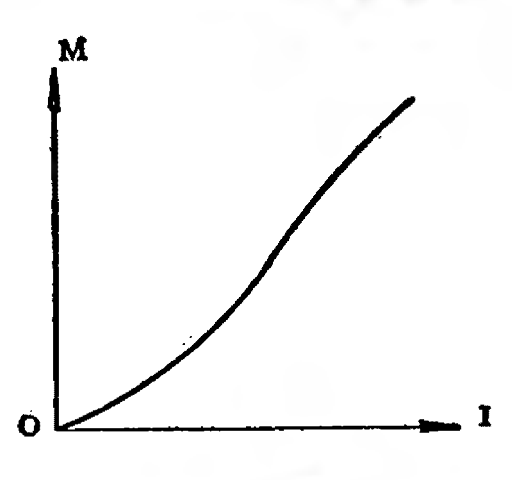


图4—2—7　单相串激电动机的M = f(I)曲线

2. 电动机转速n与电枢电流I的关系曲线$n=f(I)$

从公式(4—2—5)$n=60Ea/p\phi_d N$中，如果不考虑电动机磁路饱和的影响，认为磁极磁通ϕ_d与电枢电流I成正比(即$\phi_d \propto I$)则有

$$n \propto \frac{60Ea}{pIN}$$

或写成 $$nI \propto \frac{60Ea}{pN}$$

电源电压恒定，合成反电势E变化不大，上式中a、p和N在电动机结构已定的情况下，都是固定数值。因此，可以近似地视$60Ea/pN$为常数，即认为nI为常数，这就表明了$n=f(I)$的关系为一条双曲线，如图4—2—8所示。

3. 电动机的机械特性$n=f(M)$

从图4—2—7中的$M=f(I)$曲线与图4—2—8中的$n=f(I)$曲线中，可以找到在同一电枢电流I时的转速n与转矩M的关系，从而可以画出$n=f(M)$的关系曲线，如图4—2—9所示。

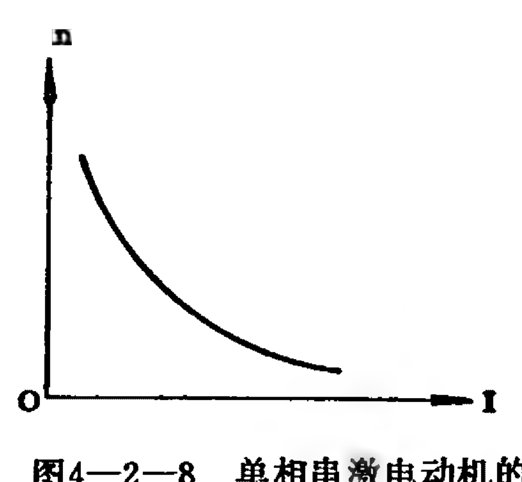


图4—2—8 单相串激电动机的$n=f(I)$曲线

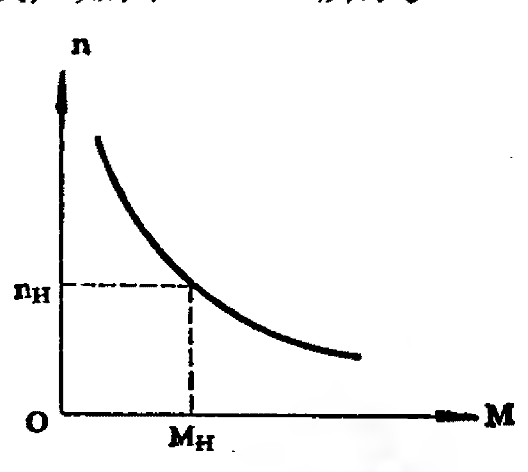


图4—2—9 单相串激电动机的机械特性

从图4—2—9中的曲线可以看出，电动机转速n随着转矩M的增大而下降，转矩M减小时，则转速n上升。单相串激电动

机的这种机械特性称为串联特性或软特性。因此，在要求恒定转速的设备中，采用单相串激电动机是不适宜的。但在某些电动工具和家用电器中，这种串联特性可以起到自动调整转速的作用，负载重时，转速低，负载轻时，转速高。例如，单相串激式手电钻，在钻小孔时，转速快；在钻大孔时，转速就自动慢下来，这恰好符合钻孔的工艺要求。

必须指出，单相串激电动机不允许空载运转，因为空载运转时，电动机的转速会剧据增高，这个很高的转速可能引起电动机的损坏。这种情况，从图4—2—9的曲线上是显而易见的。

然而，欲取得这种串联特性，必定会增加设计计算的复杂性，既要保证单相串激电动机能达到一定的输出功率，又要保证得到规定的转矩和转速的分配，即在额定转矩M_H下，得到额定转速n_H，如图4—2—9所示。否则，在使用时，不是转速太快，便是转速太慢，从而影响电动工具的使用效果。

图4—2—10为单相串激电动机在不同外施电压下的机械特性。从图中的曲线簇可见，改变外施电压的大小，可以调节电动机转速的高低（在负载恒定的情况下），这是单相串激电动机的又一优点。因此，有时在将单相串激电动机接入电网时，先通过一台降压变压器，在变压器的低压侧通过转换开关把电动机接至各个不同的抽头上，改变转换开关的位置，改变施于电动机两端的外施电压，以达到调节单相串激动机转速的目的。如图4—2—11所示。

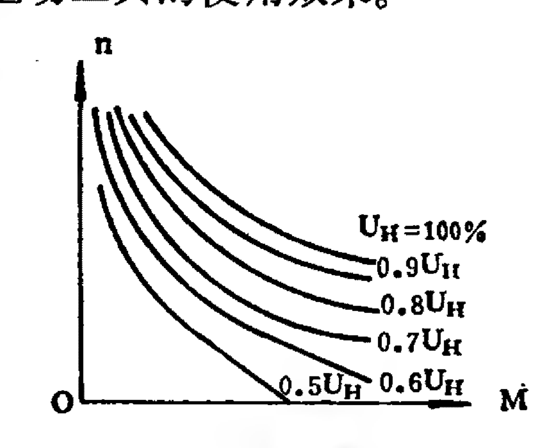


图4—2—10　单相串激电动机不同电压下的机械特性

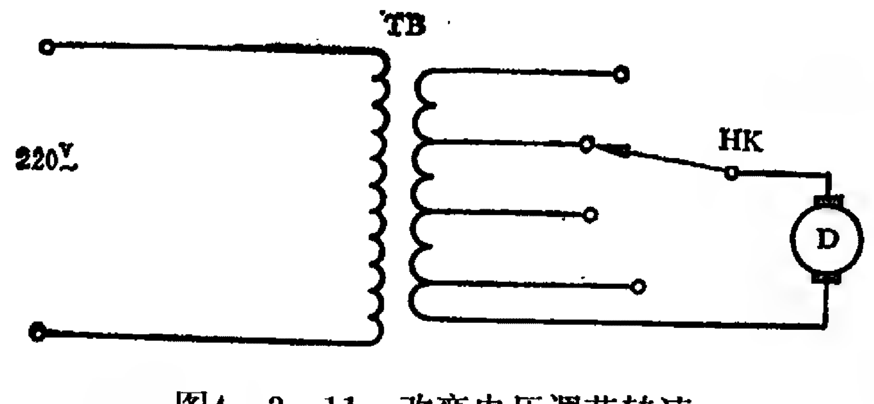


图4—2—11 改变电压调节转速

五、单相串激电动机的电枢反应及其补偿方法

直流电动机运行时，电机中还会出现另一个磁场——电枢磁场。这个磁场是电枢绕组中的电流建立的。因此，直流电机中实际磁场是磁极磁场和电枢磁场相互叠加的合成磁场。或者说，当电枢绕组中有电流流过时，电枢磁场将使电机的磁极磁场发生变化，这种作用叫做电枢反应。

单相串激电动机在运行中，由电枢电流所产生的电枢磁场的方向可根据右手螺旋定则判断，如图4—2—12所示。然而，在单相串激电动机中，这种交轴磁场（即电枢磁场）的磁通ϕ_a是交变的，它在电枢绕组中产生一个自感电动势，由于回路中电感的存在，使电流滞后于电压，功率因数角φ 增大，功率因

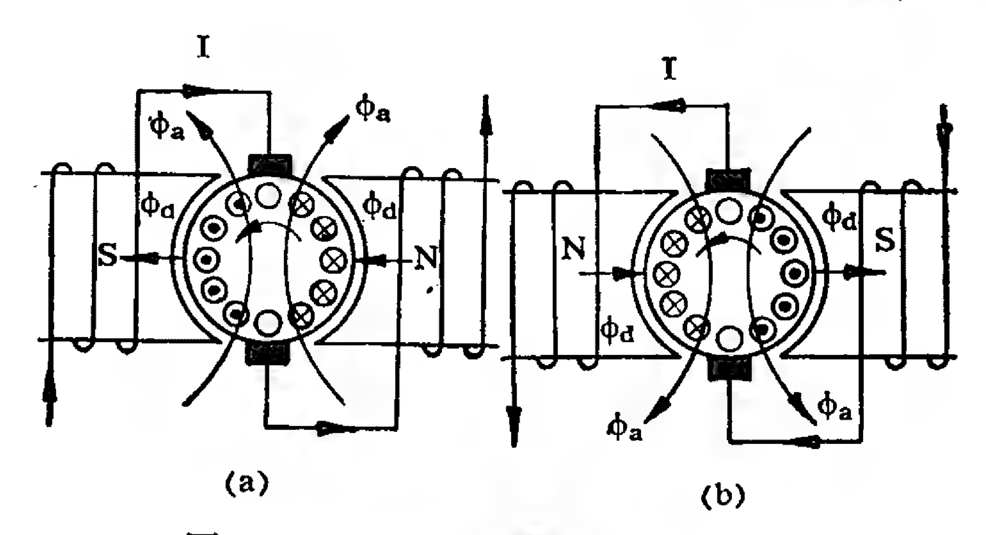


图4—2—12 单相串激电动机的电枢反应

数$\cos\varphi$降低。更严重的问题是由于磁场的畸变，将使换向器与电刷之间产生火花，造成换向的困难。为此，通常采用补偿绕组来抵消交轴磁通ϕa的影响。补偿绕组嵌在极面槽内。

补偿绕组的接法有两种，第一种接法是将补偿绕组与电枢绕组及磁极绕组串联，叫做传导补偿；第二种接法是将补偿绕组自行短接，叫做感应补偿。其作用相当于变压器中短路后的副绕组，其短路感应电流所产生的磁通几乎可以全部抵消电枢磁场的影响。

需要指出，由于感应补偿法不能用于直流电路，所以，若是交直流两用串激电动机，则不能采用感应补偿方法。

六、单相串激电动机的噪音

单相串激电动机运行时，总会产生一定的噪音。根据电机的噪音响度Γ的大小，所有小功率电机可划分为下列等级：

无噪音电机	$\Gamma < 35$分贝
低噪音电机	$35 < \Gamma < 55$分贝
正常电机	$55 < \Gamma < 75$分贝

单相串激电动机噪音的来源可分为三个部分：机械的、通风的和磁的噪音。

1.机械噪音

单相串激电动机的机械噪音是由于转子没有精确的平衡而使电动机个别部分发生振动。此外，还由于轴承的转动和电刷在换向器上的摩擦所引起。

轴承，特别是滚珠轴承，在旋转时会发出一定的噪音。滚珠轴承中滚珠与环以及隔板撞击而引起振动，并传递给电动机的端盖及机壳。滚珠轴承的噪音大小与它的尺寸以及转子的转速有关。此外，轴承制造及装配质量、润滑油的数量及种类对轴承噪音也有较大的影响。

滑动轴承的噪音比滚动轴承的噪音小得多。

电刷是串激电动机机械噪音的主要来源，这种噪音不仅由于电刷与换向器之间的摩擦所引起，而且还由于换向器表面不平整以及电刷架的缺陷而发生的周期性振动所引起。

2.通风噪音

通风噪音是由冷却电机的气流的压力振荡所引起的。冷却气流局部高速引起激烈的漩涡，也是通风噪音的来源之一。

3.磁噪音

单相串激电动机的磁噪音是由于电机部件的周期性变形所引起的。这种周期性变形是由于电枢旋转时，气隙磁导的周期性变化使磁极受到交变磁力的作用而产生的。在一般情况下，交变磁力有径向分量、轴向分量和切向分量。这些力使电动机的机座发生径向的、扭转的、拉伸的和弯曲的振动。

当单相串激电动机在交流电网上运行时，除了上述的交变作用力外，还有由于磁极磁通变化而产生的周期性磁拉力。因此，单相串激电动机在交流电网中运行时的磁噪音要比在直流电源下运行时大。

为了将单相串激电动机的噪音限制在一定响度范围，通常需要在设计、制造和运行中采取一系列的措施。

1.机械噪音的降低

(1) 对电动机转子进行精密的平衡试验，并设法增加轴的刚度，以减小由于转子不平衡所引起的噪音。

(2) 选用合格的轴承、提高装配质量、保证润滑油的质量和数量，以减少轴承的噪音。

(3) 选用具有严格圆柱形的、并且表面平整的换向器，并采用精密研磨的电刷和合格的电刷架结构，以减小电刷噪音。

2.通风噪音的降低

(1) 使冷却风扇的叶片数为质数，例如11片、13片、17片、19片……。

(2) 增大冷却风扇外径与端盖间的径向间隙，提高冷却风扇的刚度，并使冷却风扇叶片尽可能地平衡。

(3) 将冷却风扇直径减小10%～15%，以增大通风的间隙。

(4) 将冷却风扇的尖锐边缘弄圆，并使通风管道造成流线型。

3.磁噪音的降低

(1) 选择尽可能多的每极槽数（槽数应为整数），一般为 $\frac{Q}{2p} \geqslant 12$。（Q为电动机电枢槽数，P为极对数）

(2) 选择极弧的计算长度时，应按

$$b_0 = \left(\alpha + \frac{1}{2}\right)t_1 \text{（厘米）} \qquad (4—2—7)$$

式中：α——极弧系数；

t_1——电枢的齿距（厘米）。

(3) 把电枢齿或极靴扭斜一个齿距。

(4) 电枢采用半闭口槽，以减小其槽口宽度。

第三节 单相串激电动机的结构

单相串激电动机的一般结构与小功率直流电动机相仿，它主要由定子、电枢和电刷架等部件组成。

一、定子

定子由定子铁芯和绕组组成。为了减小涡流损耗，单相串激电动机的定子铁芯由0.5毫米厚的电工钢片叠装而成。定子铁芯内嵌入绕组，以组成完整的定子。

单相串激电动机的定子上装有激磁绕组、补偿绕组和换向

绕组。其定子冲片如图4-3-1所示。

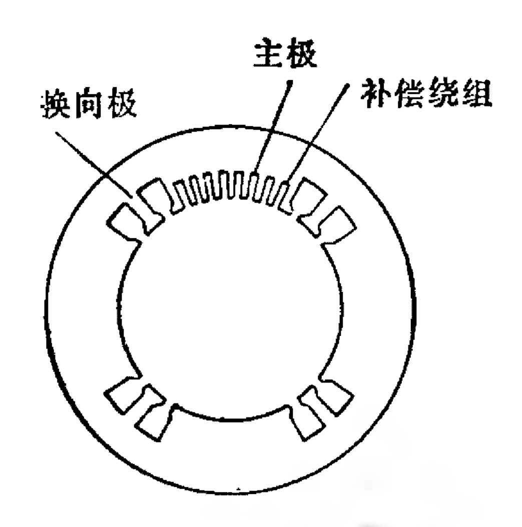


图4—3—1 单相串激电动机定子冲片

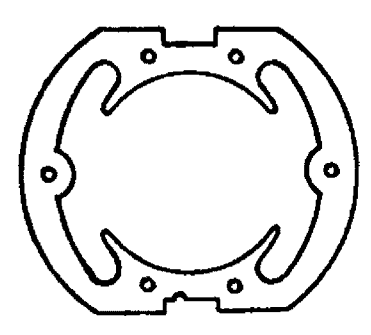
容量很小的一种单相串激电动机——万能电动机的定子冲片如图4—3—2所示。它用0.5毫米电工钢片叠装后，再用空心铆钉铆接而成定子铁芯。定子为凸极式，且有集中激磁绕组。这种电动机的特点是既没有换向极，又没有补偿绕组。它的最大容量不过数百瓦。这种串激电动机可在交流电源上使用，也可在直流电源上使用。它主要用于各种电动工具（如手电钻）、仪器设备以及家用电器中。

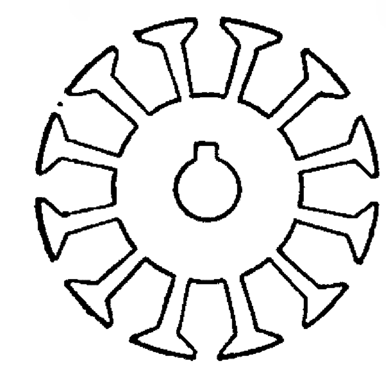
功率小于200瓦的单相串激电动机一般制成两极的；功率大于200瓦时，一般制成四极的。

二、电枢

电枢是单相串激电动机的旋转部分，它由轴、铁芯、电枢绕组和换向器等组成。冷却风扇也固定在电枢的轴上。

电枢铁芯由0.5毫米厚的电工钢片沿轴向叠装后与转轴压入配合。电枢冲片的槽形一般为半闭口槽。在槽内嵌有电枢绕组。电枢绕组的进、出线端与换向器铜片相焊接。单相串激电动机的电枢冲片如图4—3—3所示。


图4—3—2 万能电动机定子冲片

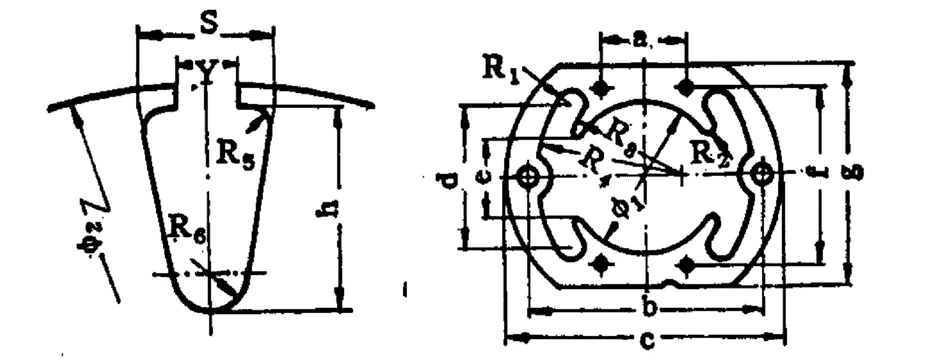

图4—3—3 单相串激电动机的电枢冲片

我国电动工具制造行业在综合了国内外有关产品特点的基础上，确定了电动工具用DT系列交直流两用串激电动机功率规格和定子、电枢冲片尺寸。DT系列单相串激电动机的主要规格见表4—3—1。其定子、电枢冲片有关尺寸见表4—3—2。

表4—3—1　DT系列单相串激电动机的主要规格

型　　号	定子冲片外径（毫米）	功　　率（瓦）	转　　速（转/分）
DT_{21}	50	60	14000
DT_{22}		90	
DT_{23}		120	
DT_{31}	56	120	13000
DT_{32}		150	
DT_{41}	62	150	12000
DT_{42}		180	
DT_{51}	71	210	11000
DT_{52}		250	
DT_{61}	80	300	10000
DT_{62}		350	
DT_{71}	90	400	9000
DT_{72}		500	
DT_{81}	102	600	8000
DT_{82}		800	

表4—3—2　DT 系列交直流两用串激电动机定子、电枢冲片有关尺寸表



尺寸代号 / 定子冲片规格	定子冲片（毫米）												电枢冲片（毫米）					
	a	b	c	d	e	f	g	R_1	R_2	R_3	R_4	Φ_1	s	y	h	R_5	R_6	Φ_2
50	13		Φ50	29.6	15	34	42	2.5	0.72	20.5	25.5	29	6.9	2	6.65		1.7	28.1
56	18	47	Φ56	28.6	15.8	36	44	3.2		23	29.4	31	7.4	2	6.65	1	2.05	30.3
62	20	52	Φ62	31	18	41	50	3.3	0.75	24	30.6	35	8.1	2.5	7	1	2.4	34
71	22	58	Φ71	36	20.2	46	57	3.6	1	33	40.2	39	7.2	2.5	7.3	1	2.1	38.1
80	24	66	Φ80	38.5	23.2	52	62	3.8		30.4	38	45	8.4	2.5	8.65	1	2.4	44
90	28	75	Φ90	46.4	25	59	71	4.4	1	34.8	43.6	51	5.4	2.5	8.3	1	1.6	49.8
102	34	82	Φ102	50	28.3	64	80	4.6	1	38.8	48	58	6.25	2.5	9.8	1	1.8	56.6

为了简化工艺，电枢铁芯的槽一般做成与转轴轴线平行，如图4—3—4(a)所示。也可以叠装成斜槽形式，即槽与转轴轴线间夹有一个角度，如图4—3—4(b)所示。斜槽结构虽然在工艺上比较复杂，但它可以使极面与电枢间的磁阻变化较小，从而起到减弱电动机运行时的噪音的作用。

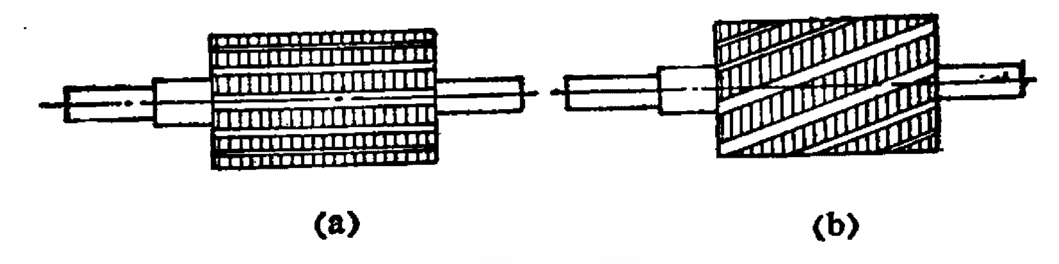


图4—3—4　平行槽与斜槽结构示意图
（a）平行槽　　（b）斜槽

单相串激电动机电枢上的换向器的结构与直流电动机中的换向器相同，它是由许多换向铜片相围而成的。换向片间用云母片绝缘。换向铜片做成楔形，各铜片下面的两端有半月形槽，在两端的槽里压制塑料，使各铜片能紧固在一起，并使转轴与换向器相互绝缘。还可以承受高速旋转时所产生的离心力而不变形。每一换向片的一端有一小槽或凸出一小片，以便焊接绕组端线。

电动工具中，串激电动机采用的换向器一般有半塑料换向器和全塑料换向器两种。全塑料换向器就是在换向铜片之间采用耐弧塑料绝缘的换向器。

未装配之前的换向器铜片如图4—3—5(a)所示。半塑料绝缘换向器的结构如图4—3—5(b)所示。

三、电刷架

电刷架一般用胶木粉压制底盘，它由刷握和盘式弹簧组成。

单相串激电动机的刷握按其结构型式，可分为管式和盒式

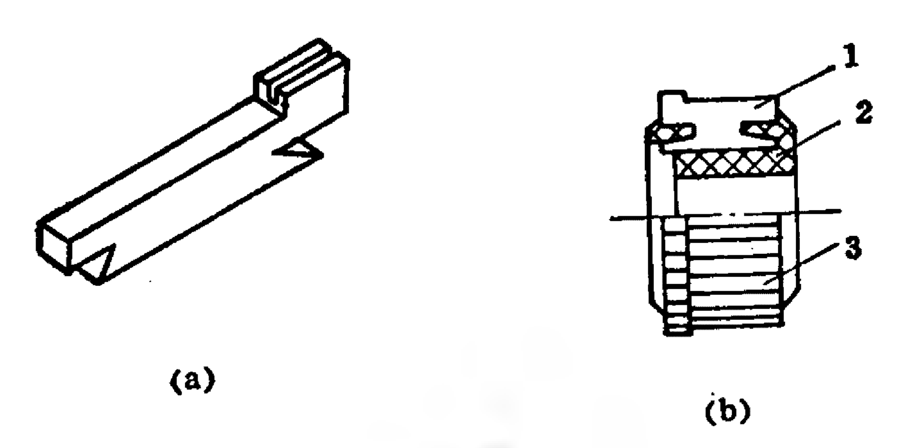


图4—3—5 单相串激电动机的换向器

1—云母片 2—酚醛玻璃纤维塑料 3—换向铜片

两大类，其结构示意图如图4—3—6所示。目前，国内单相串激电动机的刷握结构大部分采图4—3—6(b)所示的盒式结构。盒式刷握的优点是结构简单、调节方便，并且加工容易。特别适用于需要移动电刷位置以改善换向的场合。盒式刷握的缺点是

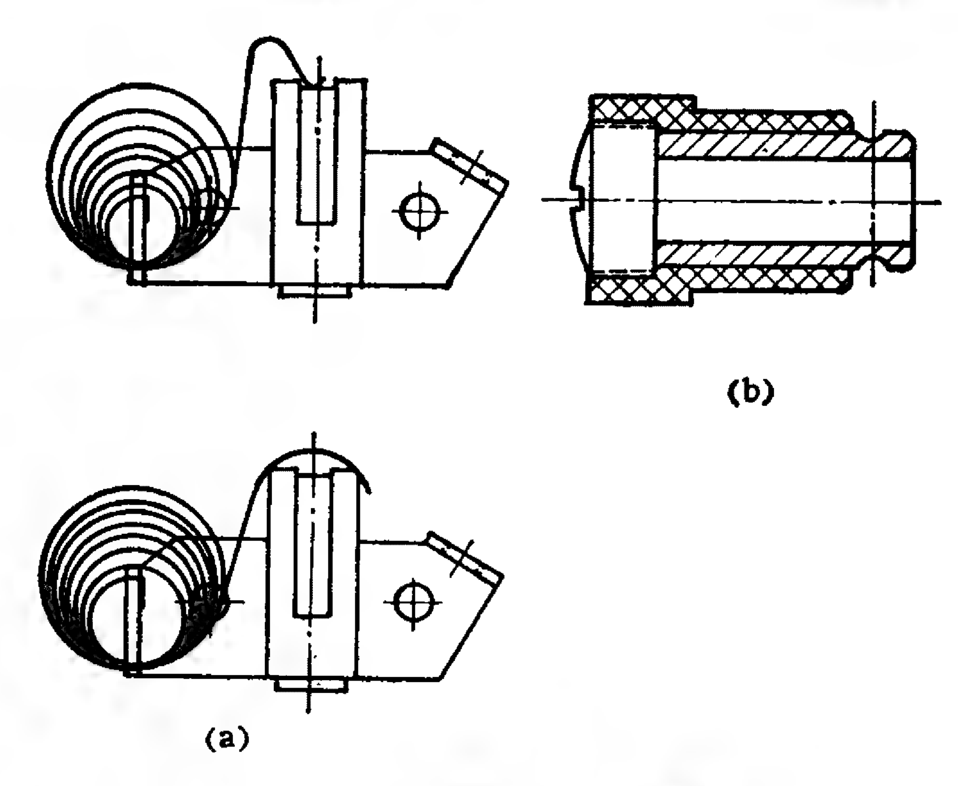


图4—3—6 单相串激电动机的刷握结构图

(a)管式结构刷握 (b)盒式结构刷握

刚性差、变形大，不适应于转速高、振动大的场合。同时，它的盘式弹簧在工作中圈间的摩擦力较大，而且电刷粉末容易落入刷握盒内，影响电刷的上下移动，调换电刷也不方便。

图4—3—6(a)所示为管式结构刷握。管式结构具有可靠耐用等优点，它恰能弥补盒式结构的不足之处。但是管式结构的加工工艺要求较高，而且外形也较难安排。

刷握的作用是保证电刷在换向器上有准确的位置和正常工作，即电刷在准确的位置上与换向器获得连续不断的全面的紧密接触，使其接触电压保持恒定，不致时高时低地跳动而影响火花的大小。

电刷也是单相串激电动机的一个附件，它不但能接通电枢与外电路，而且还与换向器配合共同完成电动机的换向任务。

电刷与换向器组成了单相串激电动机薄弱而又重要的环节。电刷与换向器之间不但有大量的机械磨损和机械振动，而且在配合不当时还将产生严重火花。

电刷的选择，主要是根据电刷的温升和换向器的圆周速度而定。而电刷的温升与电刷的电流密度、电刷与换向器的接触电压降、机械损耗以及电刷的导热性有关。而圆周速度过高，则容易引起电刷和换向器发热，使火花增大。此外，在选择电刷时，还要考虑电刷的硬度和磨损性能及惰性等因素的影响。

电动工具中采用的单相串激电动机的电刷一般都采用DS型电化石墨电刷。按电机用电刷〔(D)30～59〕标准中规定，其规格及技术性能见表4—3—3。

表4—3—3　DS型电化石墨电刷的技术性能及工作条件

型　号		DS—4	DS—8	DS—52	DS—72
电阻系数(分接触法)(欧·毫米^2/米)		6～16	31～50	12～52	10～16
压入法硬度(公斤/毫米^2)		3～9	22～24	12～24	5～10
一对电刷的接触电压降(伏)		1.6～2.4	1.9～2.9	2～3.2	2.4～3.4
摩擦系数不大于		0.2	0.25	0.23	0.25
50小时磨损不大于(毫米)		0.25	0.15	0.15	0.2
工作条件	额定电流密度(安/厘米^2)	12	10	12	12
	允许圆周速度(转/秒)	40	40	50	70
	电刷压力(克/厘米^2)	150～200	200～400	200～250	150～200

第四节　单相串激电动机的绕组

一、定子绕组

功率较大的单相串激电动机的定子嵌置着激磁绕组、换向绕组和补偿绕组。激磁绕组用来建立电动机的主磁场，在绝大多数情况下，它采用集中绕组。换向绕组绕在换向极上，它的作用是帮助电动机换向，补偿绕组是用来抵消电枢反应的交轴磁通，以改善电动机的运行性能和换向条件。

激磁绕组、换向绕组和补偿绕组与电枢绕组的串联接线参见图4—2—2(b)。

功率较小的单相串激电动机的定子只有集中式激磁绕组，而没有换向绕组和补偿绕组，参见图4—2—3。

二、电枢绕组

两极单相串激电动机的电枢绕组为单叠绕组，四极单相串

激电动机则采用单波绕组。

单叠绕组的特点是每一绕组元件的头和尾分别焊接在相邻两换向片上，各绕组元件顺序串联。图4—4—1所示为一个电枢是12槽、12片换向片的单叠绕组展开图。

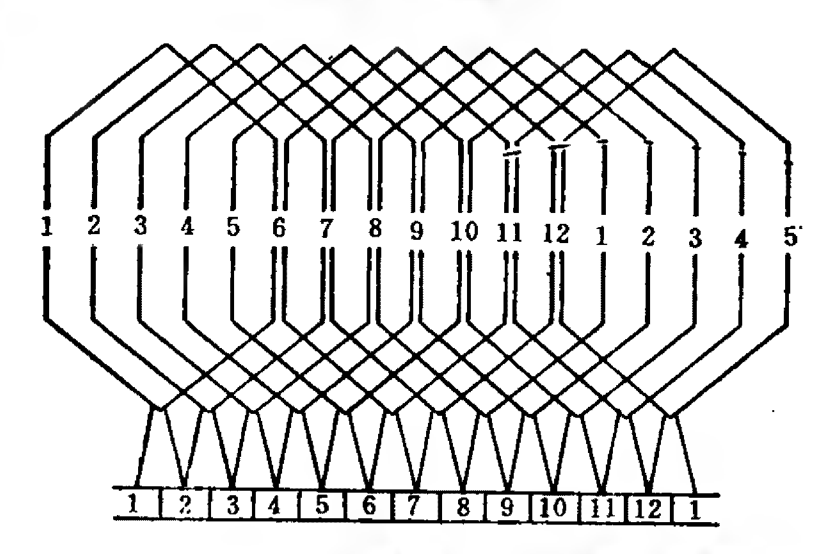


图4—4—1 单相串激电动机单叠绕组展开图

由图4—4—1可见，单相串激电动机中的所谓单叠绕组与交流异步电动机中的单叠绕组是不同的。在交流异步电动机中，定子叠绕组是按每槽嵌置一个元件边还是两个元件边来区分单叠绕组和双叠绕组的。而单相串激电动机中的单叠绕组则与直流电机中的单叠绕组一样，它是按每一元件的线头和线尾在换向片上的焊接情况来区分单叠绕组和双叠绕组的。凡是每一元件的线头和线尾焊接在相邻两换片上的叠绕组，称为单叠绕组，其换向片节距$y_K=1$，如图4—4—2(a)所示。若是$y_K=2$，则为双叠绕组，如图4—4—2(b)所示。

单叠绕组的元件数等于换向片数。而换向片的数目可与电枢槽数相等，也可为电枢槽数的2倍或3倍。例如，9槽9片、12槽24片或9槽27片等等。单相串激电动机通常取换向片数为电枢槽数的2倍或3倍，换向片数目加多的目的是为了限制电

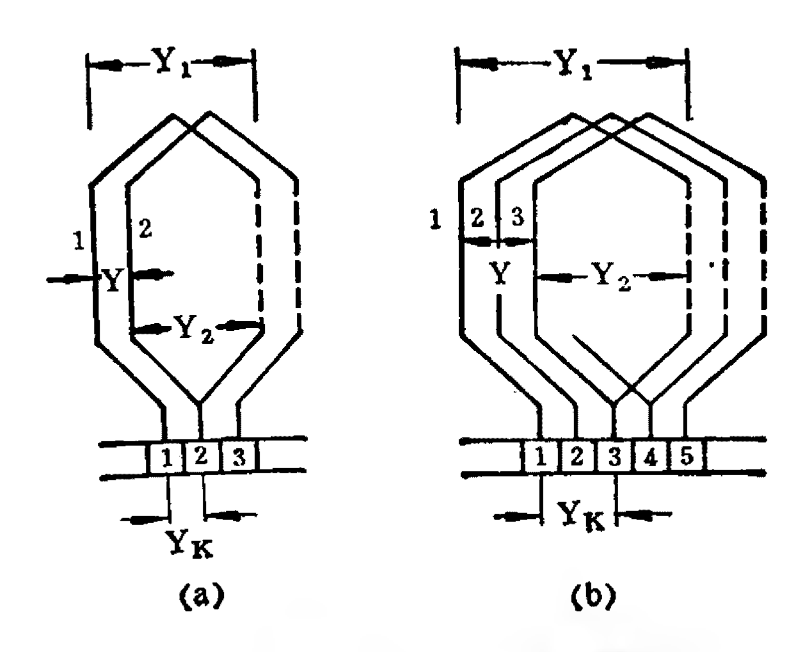


图4—4—2　单相串激电动机的叠绕组

(a)单叠绕组　(b)双叠绕组

枢绕组换向元件中的变压器感应电动势。

单相串激电动机电枢槽数有7、8、9、10、12、13、14或更多槽。

单叠绕组元件的节距（前节距）y_2可由下式决定：

双数槽　$$y_2=\frac{Q-2}{2}(\text{槽})\qquad(4—4—1)$$

单数槽　$$y_2=\frac{Q-1}{2}(\text{槽})\qquad(4—4—2)$$

式中：Q——电枢槽数。

三、小功率单相串激电动机绕组的简易计算（以手电钻为例）

1.电枢绕组的简易计算

（1）电枢绕组的总导体数

$$N=\frac{2\pi D_a A}{I_H}\qquad(4—4—3)$$

式中： D_a——电枢外径(厘米)；

I_H——额定电流(安)；

A——电动机的线负荷(安/厘米)。

线负荷A可由图4—4—3中的曲线选定。

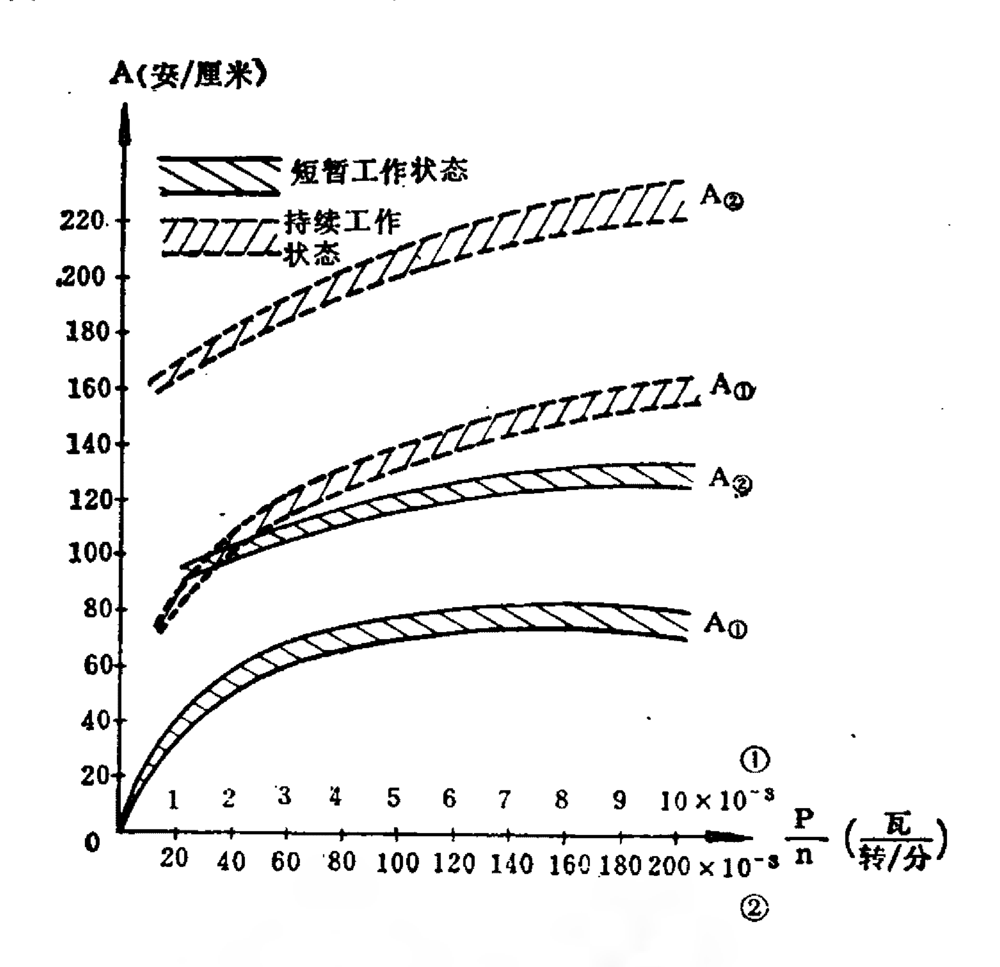


图4—4—3 单相串激电动机线负荷与$\frac{输出功率}{转速}$比值的关系曲线

若电动机铭牌损坏，无法得知额定电流I_H时，则电枢总导体数N可用下式计算：

$$N=\frac{85aE\times10^{8}}{np\phi} \qquad (4—4—4)$$

式中：p——电动机极对数。小功率单相串激电动机通常制成一对极；

a ——电枢绕组并联支路数，因为$p=1$，所以$a=1$；

n ——电动机转速（转/分）。前面已经讲过，单相串激电动机的转速不能用一般交流异步电动机的转速公式$n=60f/p$来计算。对于待修理的单相串激电动机，又不可能实测其转速，因此，只能参照同类型的单相串激电动机来估计。对于手电钻，则考虑到钻孔工艺的要求，在设计电钻时，一般都把最大直径的钻头的线速度限制在16米/分之内，这样就能够根据最大钻头的直径和减速齿轮的速度比来推算出电枢的转速，则有：

$$n_Z=\frac{16000}{\pi D_Z}(\text{转/分}) \quad (4\text{—}4\text{—}5)$$

式中：n_Z——钻头的转速(转/分)；

D_Z——最大钻头直径(毫米)。

所以，电枢转速 n 为

$$n=in_Z(\text{转/分}) \quad (4\text{—}4\text{—}6)$$

式中：i ——齿轮箱的传动比；

ϕ——电动机每极磁通(马)。

$$\phi=B\delta\tau\iota \quad (4\text{—}4\text{—}7)$$

式中：ι——电枢长度(厘米)；

τ——电枢极距(厘米)；

$$\tau=0.64\frac{\pi D_a}{2p}\ (\text{厘米}) \quad (4-4-8)$$

$B\delta$——电动机气隙磁通密度（高斯），可根据电动机输出功率与转速之比值查图4－4－4中的曲线得到；

E——电枢电势(伏)

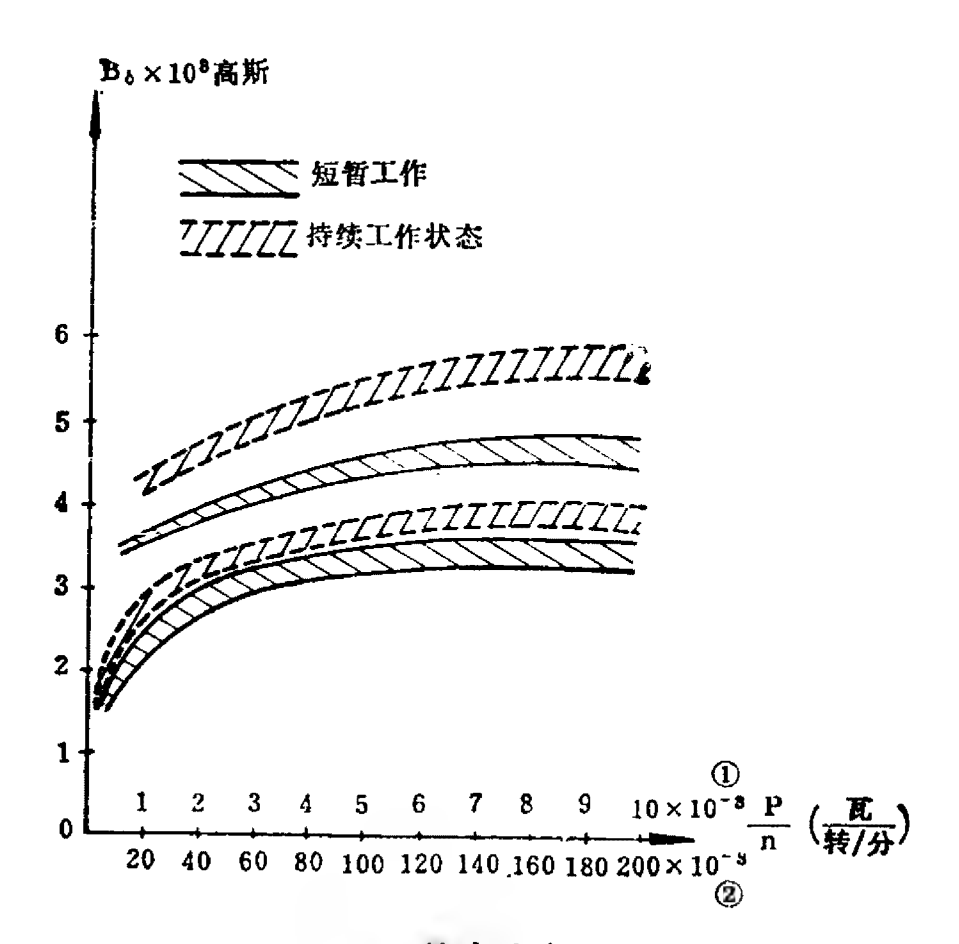


图4－4－4　气隙磁通密度与$\frac{\text{输出功率}}{\text{转速}}$比值的关系曲线

$$E=\frac{(1+\eta)U_H}{2}\cos\phi \qquad (4-4-9)$$

式中：U_H——电动机额定电压(伏)；

$\cos\phi$——电动机功率因数，可取0.7～0.9；

η——电动机效率，可根据电动机的输出功率查图4－4－5中曲线选取。

(2) 电枢绕组每元件匝数的计算：

$$W_a=\frac{N}{2K}(\text{匝}) \qquad (4-4-10)$$

式中：N——电枢总导体数；

K——换向片数。

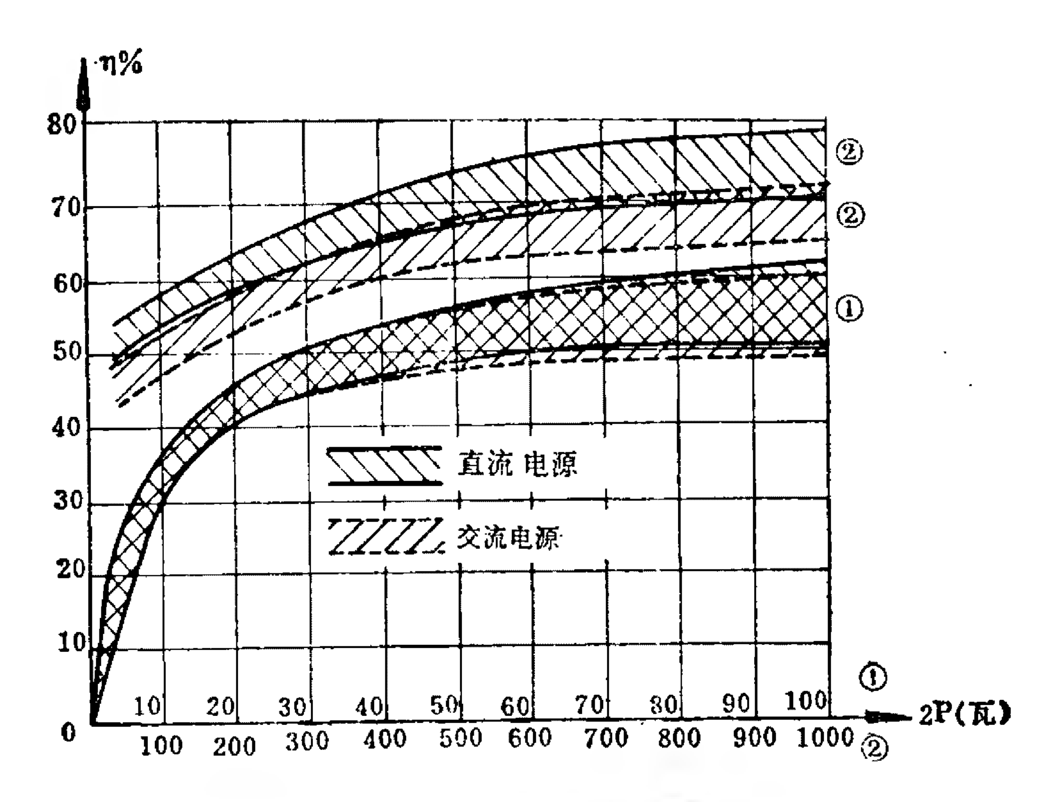


图4－4－5　单相串激电动机效率与输出功率的关系曲线

(3) 电枢每槽导体数：

$$N_a = 2W_a \cdot \frac{K}{Q} \qquad (4-4-11)$$

式中：Q——电枢槽数。

(4) 电枢绕组节距y_2：

可由公式(4－4－1)和公式(4－4－2)确定

双数槽　　$y_2 = \frac{Q-2}{2}$

单数槽　　$y_2 = \frac{Q-1}{2}$

(5) 电枢绕组导线截面积S_a：

$$S_a = \frac{I_H}{2J_a}(\text{毫米}^2) \qquad (4-4-12)$$

式中：J_a——电流密度（安/毫米²），在不同的防护方式及不同

工作状况下，两极小功率单相串激电动机电枢绕组电流密度的初步值可根据电动机输出转矩在图4－4－6中的曲线上查得。

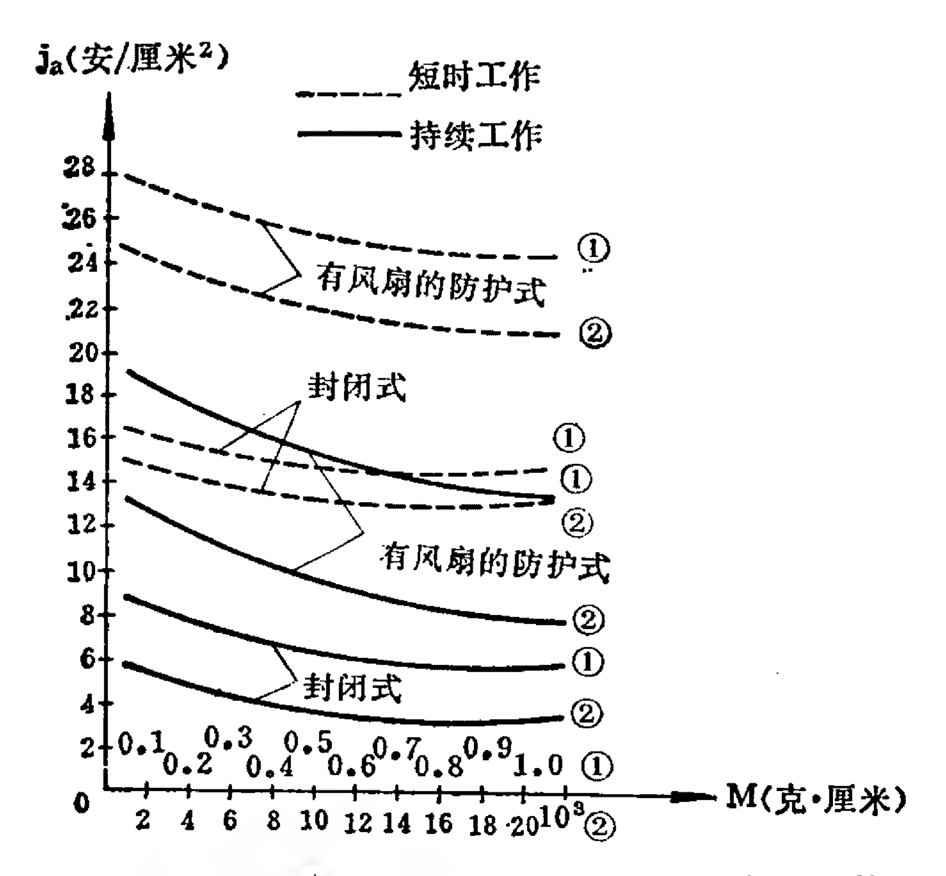


图4－4－6两极单相串激电动机电枢绕组电流密度与转矩的关系曲线

小功率单相串激电动机的转矩M为

$$M=97.5\frac{P\times10^{3}}{n_H}\quad(克·厘米)\qquad(4-4-13)$$

式中：P——电动机的额定功率（瓦）；

n_H——电动机额定转速（转/分）。

2.单相串激电动机定子绕组的简易计算：

(1) 定子绕组每极匝数：

定子绕组每极匝数约为电枢绕组总匝数的20～30%，即：

$$W_c=(0.2\sim0.3)W_a\qquad(4-4-14)$$

功率大者，取系数的大值；功率小者，取系数的小值。

式中：W_a——电枢绕组总匝数

（2）定子绕组导线截面积：

$$S_c = 2pS_a \text{（毫米}^2\text{）} \quad (4-4-15)$$

式中：p——电动机磁极对数；

S_a——电枢绕组导线截面积（毫米²）。

需要指出，按照上述方法计算的数据，不一定很准确，在重绕绕组后，可能在某方面的性能不够理想，则需要作适当修改。例如，重绕后，若电动机转速过高或过低，不符合使用要求，则可适当增减定子绕组或电枢绕组匝数。

$$W' = W\frac{n}{n'} \quad (4-4-16)$$

式中：W——重绕后绕组匝数；

n——调整前的转速（转/分）；

W′——对应n′所需的绕组匝数；

n′——需要调整的转速（转/分）。

〔例〕有一两极串激电动机，其定子和电枢绕组完全损坏，无法查明原有绕组数据，铭牌上标出额定电压为220伏，额定电流为1.8安，转速为4800转/分，量得电枢外径为4.56厘米，电枢槽数为12槽，换向片为36片。试计算该单相串激电动机的定子绕组和电枢绕组数据。

解 1.电枢绕组计算：

（1）电枢绕组总导体数

$$N = \frac{2\pi D_a A}{I_H}$$

先求出线负荷A，取效率$\eta = 0.60$，电动机的功率

$$P = U_H I_H \cos\phi \cdot \eta = 220 \times 1.8 \times 0.8 \times 0.6 = 190 \text{（瓦）}$$

则 $$\frac{P}{n}=\frac{190}{4800}\approx 40\times 10^{-3}\frac{\text{瓦}}{\text{转/分}}$$

查图4－4－3中曲线，得线负荷A＝100安/厘米。

所以 $$N=\frac{2\times 3.14\times 4.56\times 100}{1.8}\approx 1590$$

（2）电枢绕组每一元件匝数

$$W_a=\frac{N}{2K}=\frac{1590}{2\times 36}\approx 22.1(\text{匝})$$

取$W_a=22$匝，则电枢总导体数为$22\times 2\times 36=1584$。

（3）电枢每槽导体数

$$N_a=2W_a\frac{K}{Q}=2\times 22\times\frac{36}{12}=132$$

（4）电枢绕组导线截面积

$$S_a=\frac{I_H}{2J_a}$$

为求出电流密度J_a，先求电动机转矩

$$M=97.5\frac{P\times 10^3}{n}=97.5\frac{190\times 10^3}{4800}$$

$$\approx 3.9\times 10^3(\text{克·厘米})$$

查图4－4－6中的曲线，得$J_a=11$安/毫米^2

所以 $$S_a=\frac{I_H}{2j_a}=\frac{1.8}{2\times 11}=0.0818(\text{毫米}^2)$$

查附录十，选用高强度聚酯漆包线φ0.33，其截面积为

$$S=0.0855(\text{毫米}^2)。$$

（5）电枢绕组节距y_2

$$y_2=\frac{Q-2}{2}=\frac{12-2}{2}=5(\text{槽})$$

2. 定子绕组的计算

(1) 定子绕组每极匝数

$W_c = 0.2 \times W_{ap} = 0.2 \times 792 = 158.4$(匝)　　取158匝

式中：W_{ap}——电枢绕组每极匝数。

(2) 定子绕组导线截面积

$S_c = 2p \times S_a = 2 \times 1 \times 0.0855 = 0.1710$（毫米^2）

查附录十，选用高强度聚酯漆包线φ0.47，其截面积

$S = 0.1735$(毫米^2)。

第五节　单相串激式手电钻

单相串激式手电钻为手提式电动工具，它既可用于交流电源，又可用于直流电源。它操作简便、使用灵活、携带方便。适用于机械制造、造船、车辆、建筑等部门的金属构件作钻孔加工，或因受到场地限制、加工形状、加工部位不能用钻床设备加工时，都需要应用手电钻进行加工。此外，塑料、木材等非金属材料的钻孔加工也常常采用手电钻。

其它电动工具的基本结构和手电钻大同小异。如果在手电钻的基础上进行适当的改变，甚至只要稍为改变其头部结构，就成为其它用途的电动工具，如电动攻丝机、电动扳手等。

手电钻按使用的电动机类型分为单相串激式(交直流两用)电钻、三相工频电钻和三相中频电钻三种基本型式。为适应野外作业，在国外，有些国家开始采用直流永磁电动机作动力的小型轻巧的直流永磁式手电钻。本书仅介绍单相串激式手电钻。

一、单相串激式手电钻的基本结构

单相串激式手电钻的基本结构如图 4－5－1 所示。它主要由单相串激电动机、减速齿轮箱、手柄、钻夹头(或圆锥套筒)

及电源连接装置等部件组成。

手电钻的电动机轴上装有风扇，以进行冷却。

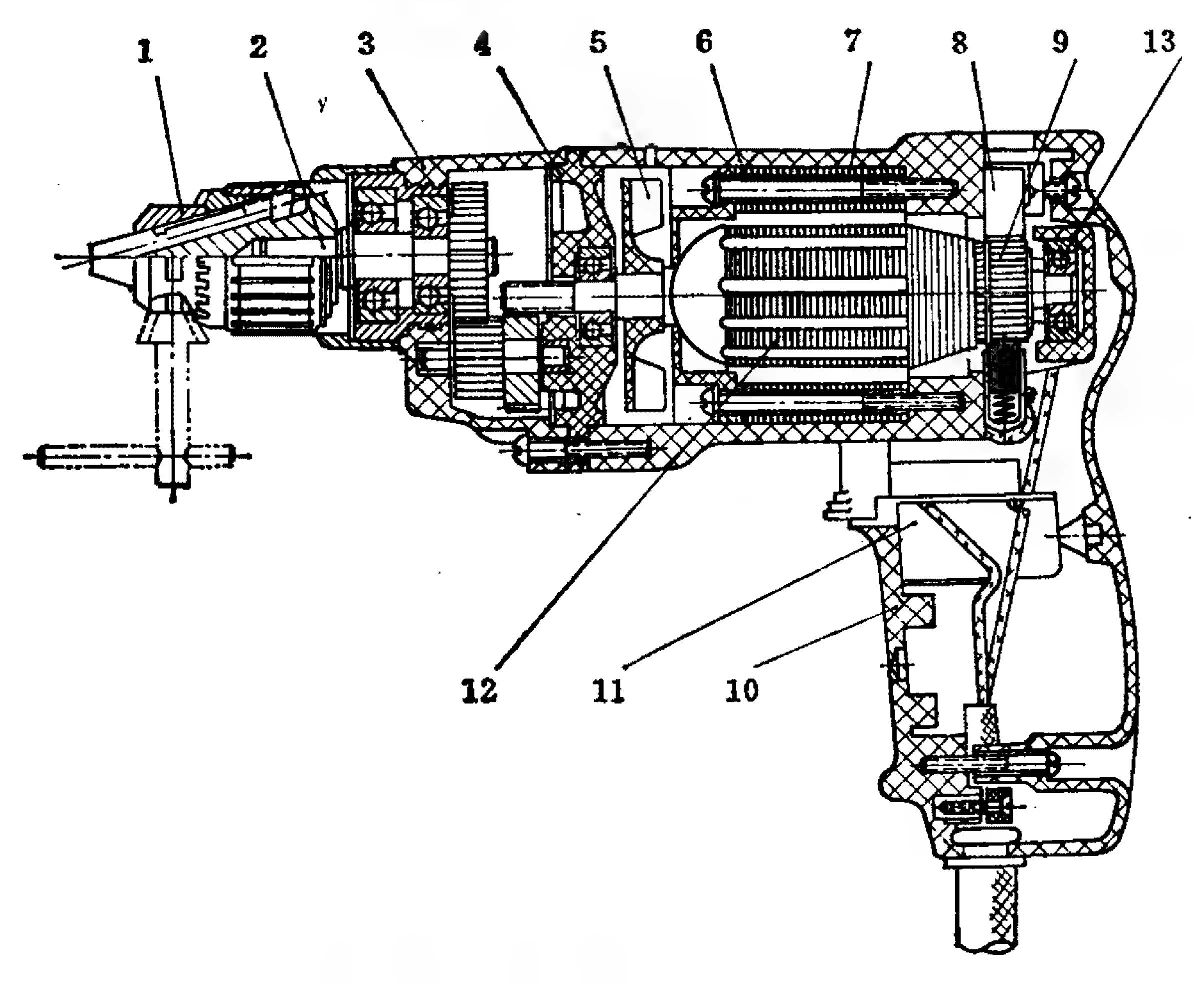


图4-5-1　手电钻的基本结构图

1—钻夹头　2—钻轴　3—减速箱　4—中间盘　5—风扇　6—机壳　7—定子　8—炭刷　9—整流子　10—手柄　11—开关　12—转子　13—滚珠轴承

电钻的减速箱由减速箱壳和齿轮(一对或两对)组成，用以减速或既减速又改变转旋方向。减速箱壳与电动机机壳用螺钉联接。齿轮一般采用0.5～1.5小模数高度修正或角度修正的圆柱齿轮，材料采用优质合金钢（40铬钢或铬锰钛合金钢）或粉末冶金，并经高频表面热处理。也有在盐浴炉内淬火或氧化处理的。齿轮的强度，不但要考虑到满载时的长期运行，而且还

要考虑在过载时的强度，甚至还要考虑在钻头卡住时的堵转而产生的比满载大几倍的堵转转矩时所需要的强度。

为对齿轮进行润滑，在减速箱内加入润滑脂。

减速箱内装有滚珠轴承或含油轴衬来支承传动轴。

手电钻在工作时，需要有一定的轴向推压力，使用时可借助于手柄来加力。手柄的结构随电钻的规格大小而有所不同。J_1Z-6型交直流两用手电钻采用手枪式结构，如图4－5－1所示。J_1Z-10型交直流两用手电钻采用环式后手柄结构；J_1Z-13型和J_1Z-19型交直流两用手电钻采用双侧手柄结构并带有后托架(板)，它的一个侧手柄直接与机壳铸成一体或用螺钉联接成一体，另一个侧手柄用圆锥螺纹联结。

交直流两用手电钻的开关装置在手柄的型腔内，这样操作灵活、方便。通常采用的开关是一种枪机式开关，其外形如图4－5－2所示。这种开关因其外形象枪机而得名。它由金属手柄1、层压盖板2、胶木外壳3和动、静触头组成。其金属手柄包括手柄盖、手柄座、拨杆和复位弹簧。胶木外壳内，除了动、静触头外，还有动触头支座、静触头支座以及瞬时弹簧。枪机式开关具有瞬时分断和瞬时闭合的优点。

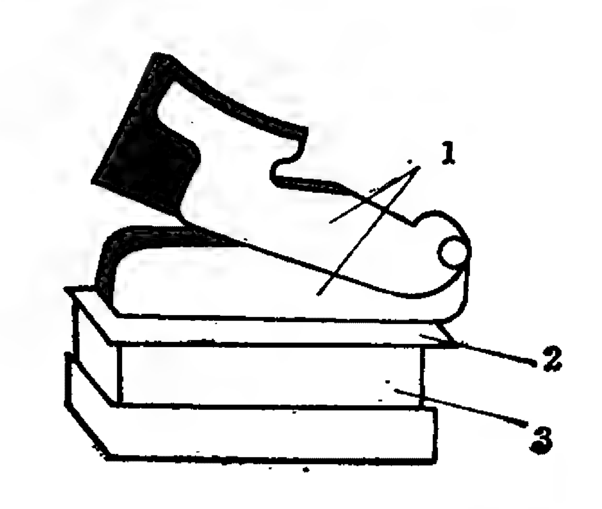


图4－5－2　枪机式开关外形图

1—金属手柄　2—层压盖板

3—胶木外壳

枪机式开关的动作原理如图4－5－3所示。当操作者的手指压按手柄时，手柄力F克服复位弹簧力F_1和瞬时弹簧力F_2

的合力，拨杆带动瞬时弹簧一起绕支点O和O′运动。当瞬时弹簧超过死点时，动触头与静触头瞬时闭合，于是电路被接通；当操作者手指松开时，拨杆依靠复位弹簧力的作用，带动瞬时弹簧一起返回，当瞬时弹簧超过死点时，动触头与静触头就瞬时断开，于是电路被切断。

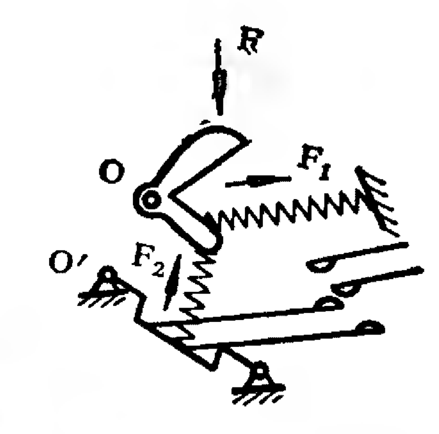


图4－5－3　枪机式开关的动作原理图

交直流两用手电钻的钻头是用钻夹头或圆锥套筒来夹紧的。J_1Z-6型、J_1Z-10型和J_1Z-13型交直流两用手电钻均采用三爪式钻夹头。钻头选用直柄麻花钻。手电钻钻夹头的使用范围如下：

6毫米电钻钻夹头	0.8～6毫米
10毫米电钻钻夹头	0.8～10毫米
13毫米电钻钻夹头	2.5～13毫米
16毫米电钻钻夹头	3～16毫米

19毫米电钻均采用2号莫氏圆锥套筒。

交直流两用手电钻的电源线采用三芯橡皮电缆线，其中一芯以黑色绝缘包裹的线规定为接地线。

交直流两用手电钻选用的电缆线规格见表4－5－1。

交直流两用手电钻电源线的插头应采用三柱插头，其中粗的铜柱为接地柱，以保证手电钻外壳可靠接地。

采用42伏、36伏单相安全电压供电的手电钻，其电源电缆线均为二芯橡皮软线，并采用单相双柱插头。

二、交直流两用手电钻的工作性能

1.规格

表4—5—1　交直流两用电钻选用的电缆线

电缆规格 / 电钻规格	CHFR耐油橡皮线	
	220 伏 用	36 伏 用
J_1Z—6型	3×23/Φ0.193	2×40/Φ0.193
J_1Z—10型	3×23/Φ0.193	2×70/Φ0.193
J_1Z—13型	3×23/Φ0.193	2×70/Φ0.193
J_1Z—19型	3×40/Φ0.193	

手电钻的规格是按对45号钢加工最大钻孔直径的大小（单位为毫米）来表示的。例如，交直流两用手电钻J_1Z-6，规格“6”就是说这种电钻对45号钢加工钻孔的最大孔径为6毫米。若对有色金属、塑料和木材等钻孔时，最大钻孔直径可相应增大30%～50%。

交直流两用手电钻的规格按有关部门实际使用需要、切削效率和重量等因素，分为6、10、13、16、19毫米等规格。其最大规格为19毫米。这是因为大规格的交直流两用串激电钻的重量比三相工频电钻轻不了多少，例如J_1Z-19型交直流两用串激电钻的重量为7公斤，而J_3Z-19型三相工频电钻重量为8.2公斤，二者仅着差1.2公斤。而交直流两用手电钻不但在制造、使用和维修上都比三相工频电钻复杂，而且寿命也比较短。而19毫米以下的交直流两用手电钻的重量要比三相工频电钻轻得多，例如，13毫米的交直流两用手电钻的重量为4.5公斤，而13毫米的三相工频电钻重量为6.8公斤，二者重量差值为交直流两用电钻的51%，所以，小规格的三相工频电钻很少采用，而大多制成串激式手电钻。

J_1Z型交直流两用手电钻的技术数据见表4－5－2。220伏交直流两用手电钻的电磁参数见表4－5－3。

表4—5—2 J_1Z型交直流两用手电钻技术数据表

型号	最大钻孔直径（毫米）	额定电压（伏）	额定电流（安）	钻轴额定转矩（公斤·厘米）	钻轴空载转速（转/分）	交流时电源频率（赫）	外形尺寸（毫米）			重量（不包括电缆及插头）（公斤）	钻夹头类型
							长	宽	高		
J_1Z-·6	6	220	0.91	9	400	50	220	60	145	1.8	三爪夹头
		110	1.85	9	1400	50	220	60	145	1.8	三爪夹头
		36	5.6	9	1400	50	220	60	145	1.8	三爪夹头
J_1Z—10	10	220	1.2	24	900	50	302	175	120	3.2	三爪夹头
		110	2.4	24	900	50	302	175	120	3.2	三爪夹头
J_1Z—13	13	220	1.9	45	600	50	380	102	300	4.2	三爪夹头
		110	3.7	45	600	50	340	95	300	4.5	三爪夹头
		36	11.1	42	600	50	340	95	300	4.5	三爪夹头
Z_1J—19	19	220	3.0	120	420	50	315	115	450	6.5	*2莫氏锥柄

表4—5—3　220伏交直流两用手电钻的电磁参数表

产品规格		J_1Z—6型	J_1Z—10型	J_1Z—13型	J_1Z—16型	J_1Z—19型
定子	线径(毫米)	ϕ0.31	ϕ0.38	ϕ0.51	ϕ0.62	ϕ0.72
	每极匝数	266	196	150	140	120
电枢	线径(毫米)	ϕ0.23	ϕ0.27	ϕ0.35	ϕ0.41	ϕ0.51
	每槽线数	252	156	132	102	84
	每圈匝数	42	20	22	17	14
	绕组型式	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠
	绕组节距	1～5	1～6	1～6	1～7	1～7
换向器	片数	27	36	36	39	45
	外径(毫米)	22～23	29	29		34
电刷	牌号	DS—8	DS—8	DS—8	DS—8	DS—8
	尺寸(毫米)	6.5×4.3	12×5	12×5	12×5	15.5×5

2. 电钻的转速

单相串激电动机具有如图4－2－9中曲线n＝f（M）所示的软特性。当电钻具有不同负载时，有不同的转速，以满足当轴向推力及钻孔直径不同时，负载不同，其转速也不同的要求，即电钻钻小孔时，需要较高转速；当钻大孔时，要求较低的转速。交直流两用手电钻的空载转速比满载时高40％～50％。

3. 工作方式

交直流两用手电钻大多为断续工作制。设计计算时，以5分钟为限，连续工作时间不超过5分钟的为断续工作制；连续工作时间超过5分钟的应按连续工作制设计。

三、交直流两用手电钻的使用方法和注意事项

1.为了充分发挥各种规格电钻的性能及结构上的特点，达到良好的切削效率，避免电钻因过热而烧毁，应当按照不同的钻孔直径而选用相应的电钻规格。电钻规格参见表4－5－2。

2.手电钻外壳要保证良好的接地，并且在使用电钻前，必须检查电钻外壳的接地情况。同时必须按照安全操作规程戴上橡皮手套，穿上绝缘胶鞋或站在绝缘板上操作。

3.使用前，应检查电源电压与电钻铭牌上的电压是否相符，最好不在超过或低于额定电压15％的电源上使用。

4.电钻使用前，先空转1～2分钟，并注意观察运转是否正常，通风是否良好。

5.新电钻和长期搁置不用的电钻，在使用前必须用500伏摇表测量其绕组与机壳的绝缘电阻。若此值小于0.5兆欧时，则此电钻必须经过干燥处理，使其绝缘电阻大于0.5兆欧时方可使用。

6.交直流两用手电钻不能在空气中含有易燃、易爆的场所使用，也不要存放在潮湿或有腐蚀性气体的环境里。

7.做好换向器的清洁工作，注意随时清除污垢。对电刷保持适当的压力，并及时调换磨损过大的电刷。

第六节　单相串激式手电钻的常见故障和修理

一、电钻的故障检查程序

电钻发生故障后，首先要对电钻进行一系列的检查，分析造成故障的原因，以便采取适当的修理方法，使电钻消除故障，恢复正常。其检查程序如图4－6－1所示。

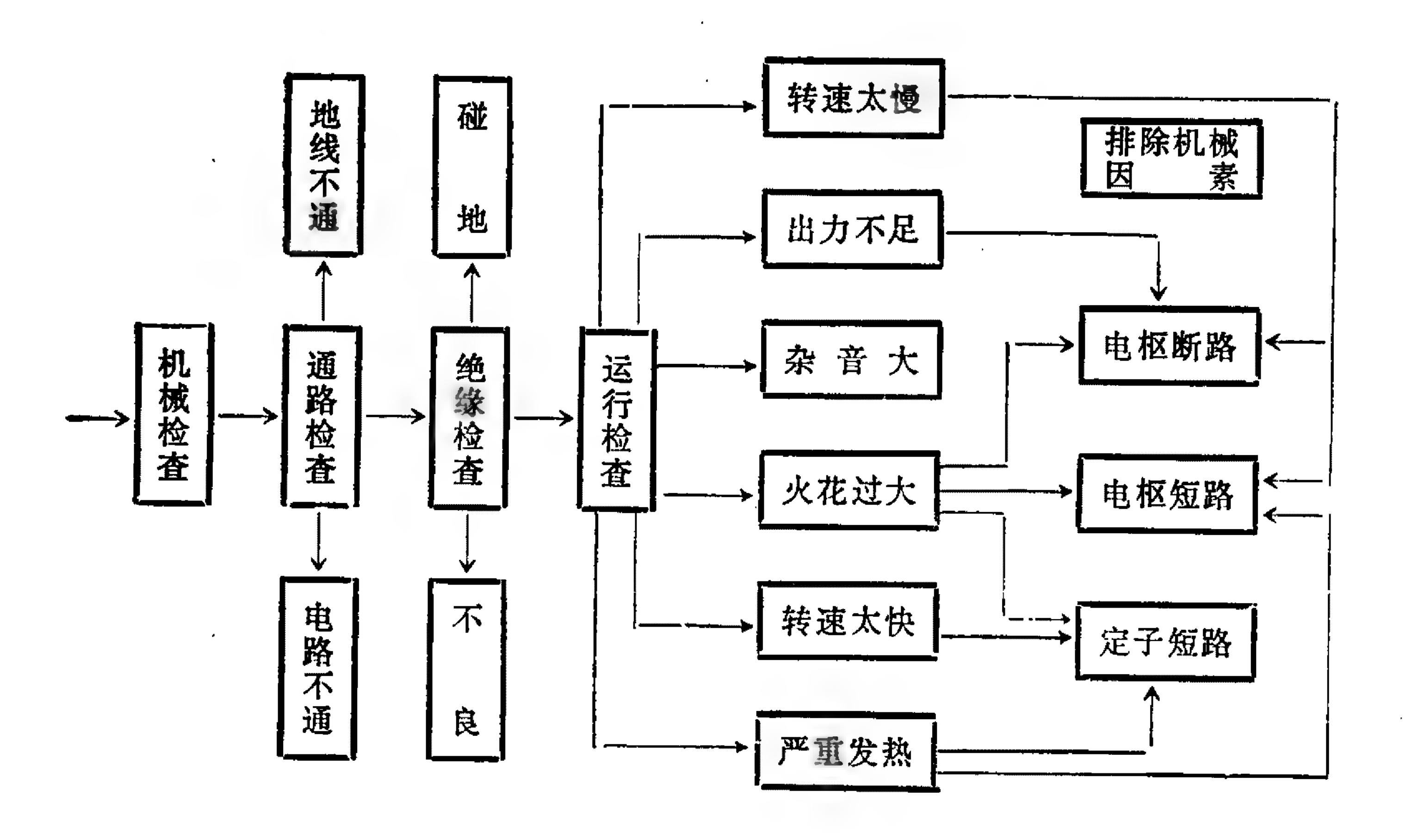


图4—6—1　单相串激式手电钻检查程序方框图

二、电钻开关和机械传动部分的检修

枪机式开关接触不良或损坏，是手电钻常见的故障之一，由于电钻为断续工作制，所以，开关通断频繁。而每经过一次接触和断开，其触头就要经受一次摩擦和振动。久而久之，开关的接触点就可能发生断裂，或因火花而将触头烧坏，从而造成触头接触不良。严重的时候，由于接触不良，将产生很大火花，甚至将开关的绝缘烧坏，导致整个开关报废。同时，由于开关动作频繁，其内部弹簧可能疲劳或折断。

遇到上述情况，应将开关拆开进行检查和修理。

(1) 若是触头烧伤而形成接触不良，则须用细砂布将触头擦净。

(2) 若是由于触头发生位移致使接触不良，则可用钳子将触头位置校正。

(3) 若发现开关内弹簧疲劳或折断，则须调换新弹簧。如果是弹簧发生位移，则将其恢复原来位置。

手电钻的机械传动部分的故障主要是：轴承磨损、风叶松动、电枢主轴齿轮或从动轮损坏等。

1.轴承和电枢主轴的磨损

手电钻经过较长时间的使用，轴承和电枢主轴必然会造成磨损。由于轴承或电枢主轴的磨损，电枢便会偏离中心位置。在运转时，将发出较大的噪音，并引起振动。若电枢的偏离程度较大时，则可能造成电枢与定子磁极相擦而损坏电动机。

检查轴承或电枢主轴磨损的方法是首先检查电枢前部轴承或电枢主轴，具体做法是首先将手电钻的减速齿轮箱取下，中间盖不动，仍用螺钉使之与机壳紧固，然后用手将电枢主轴沿轴的垂直方向上下左右扳动，若发现松动，则表明前轴承或电枢主轴磨损。此时，须拆下中间盖，作进一步检查，断定是轴

承还是电枢主轴的磨损，若是轴承损坏，则应调换新轴承。检查前轴承后，再检查后轴承。

国产的各种规格的单相串激式手电钻的含油轴承和单列向心球轴承的型号、规格见表4－6－1。含油轴承的尺寸如图 4－6－2 所示。供修理电钻时选用轴承参考。

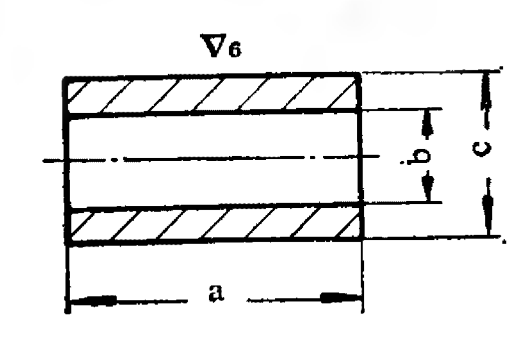


图4－6－2　含油轴承尺寸示意图

表4—6—1　单相串激电钻的常用轴承规格及尺寸

电钻规格	含油单列向心球轴承规格				含油轴承尺寸（毫米）a	b	c
J_1Z—6	202	E_{27}	E_{29}		$9^{-0.2}_{-0.3}$	$\phi 8^{+0.035}_{+0.005}$	$\phi 12^{+0.075}_{+0.040}$
					17 ± 0.20	$\phi 5^{+0.025}$	$\phi 7.5^{+0.055}_{+0.030}$
J_1Z—10	200	203	E_{29}		10 ± 0.3	$\phi 8^{+0.035}_{+0.005}$	$\phi 12^{+0.075}_{+0.040}$
					12 ± 0.3	$\phi 10^{+0.055}_{+0.025}$	$\phi 13.5^{+0.055}_{+0.035}$
J_1Z—13	200	201	303		12 ± 0.35	$\phi 8^{+0.055}_{+0.025}$	$\phi 11^{+0.055}_{+0.040}$
					12 ± 0.35	$\phi 12^{+0.18}_{+0.13}$	$\phi 16^{+0.075}_{+0.040}$
J_1Z—19	203	205	60202	60201	18 ± 0.3	$\phi 12^{+0.18}_{+0.13}$	$\phi 16^{+0.075}_{+0.040}$

2. 散热风扇的松动

散热风扇的松动主要是由于重绕电枢绕组时，为便于绕线而将风扇从主轴上敲下，经过多次装拆之后，使风扇内径变大，因而引起散热风扇的松动。散热风扇松动之后，由于离心力的

作用，在电钻运转时，将发生风叶碰撞机壳的现象。其处理方法是在风扇与轴配合的地方将轴滚花而使之变粗，然后再将风扇压入主轴。

3.电枢主轴齿轮或减速齿轮损坏

电枢主轴齿轮或减速齿轮的损坏，一般是由于齿轮的润滑不好，使齿轮发热而引起的。

若发现齿轮损坏，即使损坏不多，也不要勉强运转。因为齿的损坏造成了电钻运转的障碍，除了噪音之外，同时还加重了电钻的负载，致使电动机发热，严重时，将使电动机绕组烧毁。

电钻电枢主轴上的齿轮磨损后，因为其精度要求高，还须经过高频热处理，一般修理难以满足要求，因此需要更换整个电枢。

三、定子线圈故障的修理

1.定子线圈的断路

实践经验表明，定子线圈的断路故障多发生在线圈的引线处。在这种情况下，只要用手稍微拉扯一下线圈的引出线便能发现。如果是线圈内部断路，则需用万能表进行量测。

定子线圈断路后，电钻便无法起动。

定子线圈断路处若在线包外部，则只需重新焊牢之后再作绝缘处理，即可修复。若断路处在线包内部，则一般需要重新绕制定子线圈。

焊接定子线圈引线处的断路点时，特别是焊接线包引出线根部的断路点时，需要将定子线圈从磁极上取下来。由于定子线圈的线包是经过了绝缘处理的，因而很坚硬，难以从磁极上取下来。此时，可在电炉上烤一烤，使线包受热变软后，迅速将其从磁极上取下来。

2.定子线圈的短路或接地

定子线圈的短路绝大多数是由于线圈受潮严重，其绝缘强度降低，接通电源后，线圈的绝缘部分漏电，使线圈发热，时间稍长，导线绝缘烧坏而引起线圈匝间短路。

定子线圈发生短路故障后，电钻的空载转速开始增高，随后转速变慢，且换向器上有绿色火花，电钻振动并带有较大杂音。稍带负载，线圈便严重发热,并可以闻到绝缘烧焦的气味，若拆开线包，便可看到烧黑的痕迹。此时，应重新绕制定子线圈。

定子线圈的碰壳是由于包缠在定子线圈线包外部的绝缘受潮严重或损坏破裂所引起的。如果电钻外壳未良好接地，则必然危及人身安全。若电钻外壳接地良好，当定子线圈的碰壳点在靠近电源的火线进线处时，则保险丝立即熔断；当碰壳点位于电源的零线进线处附近时，则保险丝可能不会熔断，电钻仍可以转动。但此时其主磁极磁场被减弱，电动机的转速必然升高(参见公式4—2—5)。又由于定子线圈的部分匝数被短接，引起主磁极磁通的不平衡，从而使电动机旋转时发生振动现象。在这种情况下，如果使电钻继续运转，则将使碰壳处火花增大，这就扩大了绝缘的破坏面，从而造成定子线圈的匝间短路。

定子线圈发生碰壳故障后，应立即停止使用电钻，并将电钻拆开，仔细观察绝缘的损坏处，发现局部绝缘被烧黑或有破损，应对此重新作绝缘处理。

四、定子线圈的重绕

单相串激电动机的定子线圈损坏后，如无法修复，则需要重新绕制。

国内生产的单相串激电钻中的电动机定子线圈数据参见表

4—5—3。

重绕定子线圈时，需要制作绕线木模。定子线圈绕线木模的外形如图4—6—3所示，木模的尺寸数据见表4—6—2。

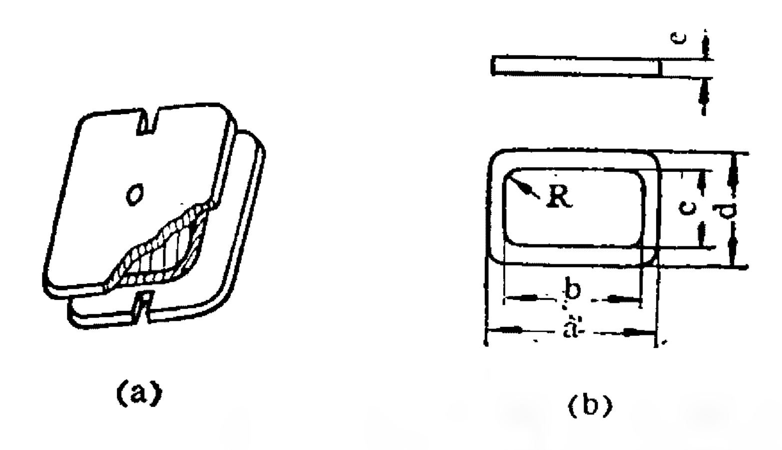


图4—6—3 定子线圈的绕线木模
（a）木模外形 （b）木模尺寸

表4—6—2 J_1Z型单相串激电钻定子线圈木模数据表

电钻规格 \ 尺寸代号	a	b	c	d	e	R
J_1Z—6	40	54	37	51	6	2
J_1Z—10	46	61	43	58	7	2
J_1Z—13	52	70	44	62	7	3
J_1Z—19	59	72	55	76	8	3

定子线包绕成后，用玻璃丝漆布或黄蜡绸带半叠包缠好，并压成和磁极一样的弯度，并将绕组套入磁极上，如图4—6—4所示。

必须注意，定子线包绕成后，要先将定子线包套入磁极内，然后再浸漆烘干。否则，浸过漆之后的线包烘干后很坚硬，难以压出所需要的形状来而不能套入磁极内。

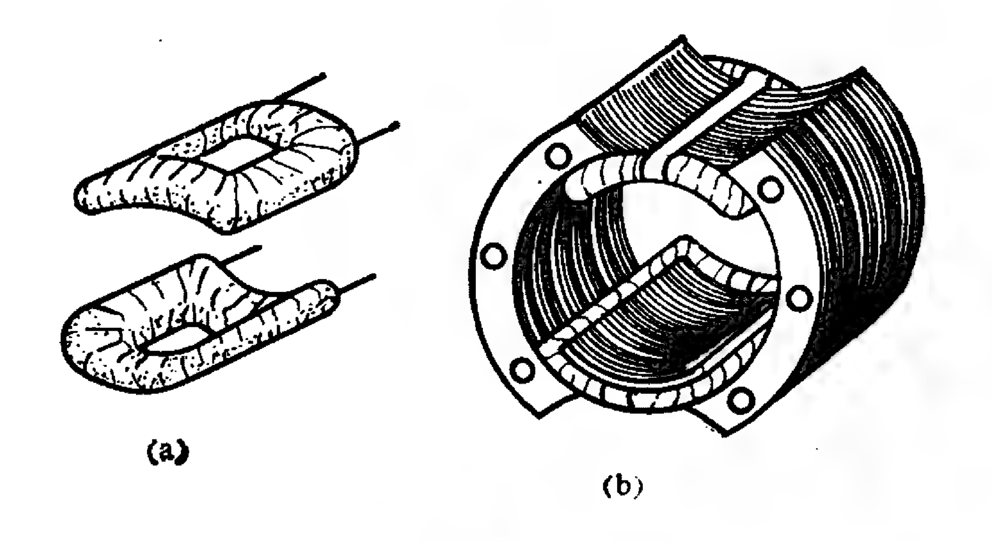


图 4 — 6 — 4　单相串激电动机的定子线包和安装图

(a)定子线包　(b)定子线包的安装

电动机的定子线圈是与电枢绕组串联的，其串联方式可分为两种：

1. 电枢绕组串联在两只定子线包的中间，如图 4 — 6 — 5 (a)所示。

2. 两只定子线包串联之后，再与电枢绕组串联，如图 4 — 6 — 5 (b)所示。

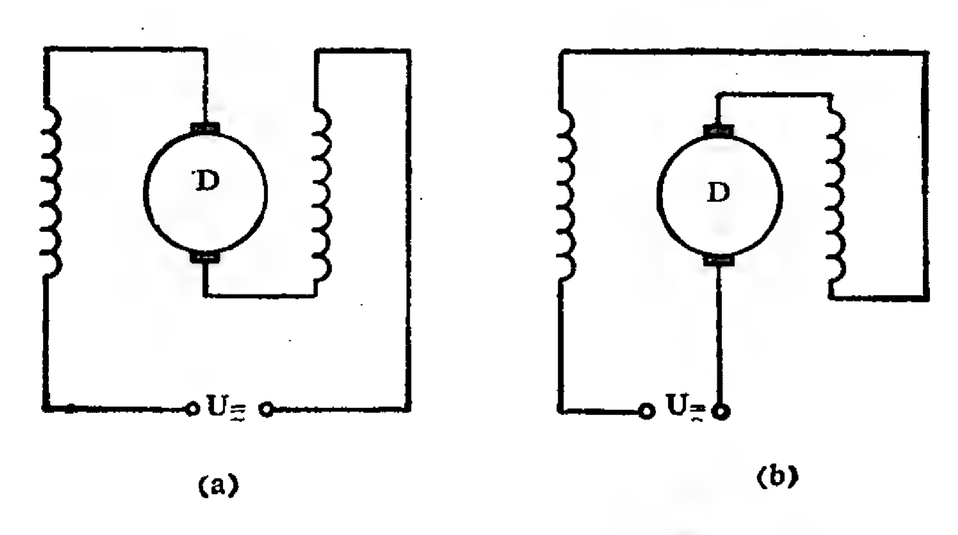


图 4 — 6 — 5　定子线包与电枢绕组串联的不同接法

图4—6—5中所示两种串联方法，其原理完全相同。接线时，可任意选用。但图4—6—5（a）中所示串联方式在实际中使用较为普遍。

需要指出，因为单相串激电钻的电动机做成两极电机，因此，在连接定子两个磁极下的线包时，应使这两个线包中的电流方向相反，即第一个线包中的电流若是顺时针方向流过时，则另一个线包中的电流方向应为逆时针方向。这就需要采用显极连接法，即需将两个磁极下的定子线包的尾与尾连接，或头与头连接起来。这样形成的主磁极必然是一只为N极，另一只为S极。两个定子线包中的电流方向及其连接方式如图4—6—6所示。

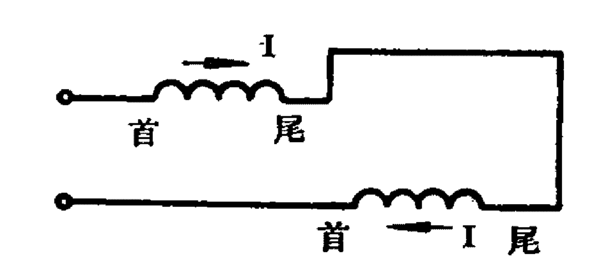


图4—6—6　两个定子线包的连接方法

电钻的旋转方向取决于定子线圈与电枢绕组二者电流的方向。若是由于定子线圈接错而造成电钻反转时，只需将两个电刷架上所接的两个定子线包引线对调一下即可。如图4—6—7所示。

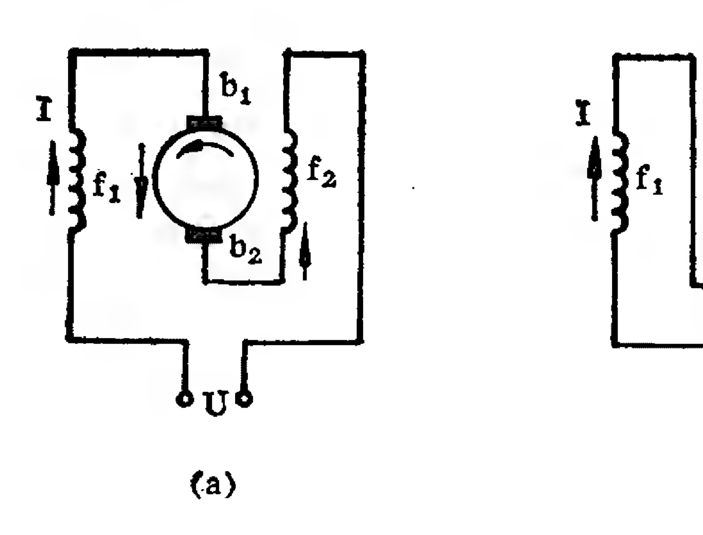


图4—6—7　改变电钻转向方法示意图

若是由于电枢绕组接线错误而造成电钻的转向不符合要求时，对于低电压(36伏和110伏）供电的电钻，可以用上述互换两电刷架上所接的两个定子线包的连接线的方法来改变电钻的旋转方向。但是，对于220伏电压供电的电钻不能采用此法。否则，将使电钻的转速下降，电刷火花很大，甚至烧毁电动机。因此，在这种情况下，欲改变电钻的旋转方向，只有改变电枢绕组与换向片的连接。

五、电枢绕组故障的修理

1.电枢绕组的断路

实践表明，电枢绕组各线圈引出线与换向片间的焊接处是最容易发生断路的薄弱环节。这有两方面的原因：一是由于焊接质量不好，容易造成脱焊或出现虚焊而使电枢绕组断路；二是电钻在重负载下运行时，或因其他某种原因，使电刷与换向器之间产生严重火花，将焊接处的焊锡熔化，造成线圈引出线与换向片的脱焊，因而引起电枢绕组的断路。

也有少数情况，电枢绕组的断路发生在电枢铁芯槽内，那是由于绕组发生短路或碰壳将线圈烧断所致。

电枢绕组发生断路后，电钻还能不能起动呢？这要视绕组断路情况而定。当电枢绕组的断路情况严重时，即电枢绕组断路的部分较多，或其两条并联支路中都有断路故障，则电枢绕组的通电回路完全中断，电动机便不能起动。当断路故障轻微时，电枢绕组的通电回路没有完全中断，仍有电流通路。电钻接通电源时，电动机仍能转动。空载时，转速可能正常，只不过是电刷和换向器之间发生较大的火花，并形成细火环。负载时，转速降低，转矩减小，同时出现振动现象，转速也不稳定，时间稍长即发热。

产生上述现象的原因分析如下：

前面讲过，由于一般单相串激手电钻的电动机都做成两极机，因而电枢绕组有两条并联支路，如图 4 — 6 — 8 所示。

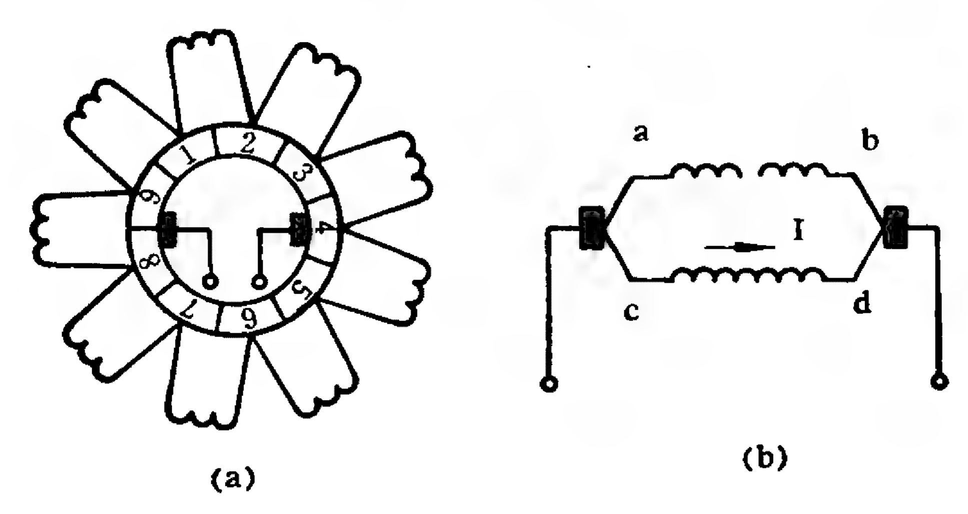


图 4 — 6 — 8　电枢绕组由两路并联运行

当一根导线断路时，如图 4 — 6 — 8（b）中所示的ab支路断开，则电流 I 还可以从电枢绕组的另一条支路cd通过。此时，电枢绕组通电回路的导线截面相对来说减小了二分之一，并且与磁场相互作用的电枢绕组线圈匝数也只有原来的二分之一了。因此，电枢虽能旋转，但其转矩和转速均要降低，况且电枢受力也不平衡，因而产生振动。

若是整个电枢绕组中，只有一片换向铜片上的接线头脱焊或折断，如图 4 — 6 — 9 所示。当接通电源时，电动机能够起动。在运转中将产生与上述断一根导线时相同的现象。只不过是在电枢运转过程中，当电刷触在脱焊的换向铜片上时，电枢绕组电路暂时中断，但由于电枢旋转的惯性作用，电枢将继续旋转，使电刷接触到下一片换向铜片。于是，电枢回路又被接

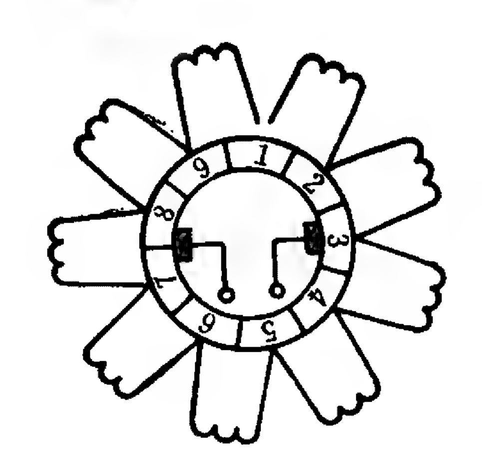


图 4 — 6 — 9　一片换向片脱焊断路

通了。

当整个电枢上有两、三片换向片脱焊或连接头折断时，如图4—6—10所示。接通电源后，可能产生下述两种情况：

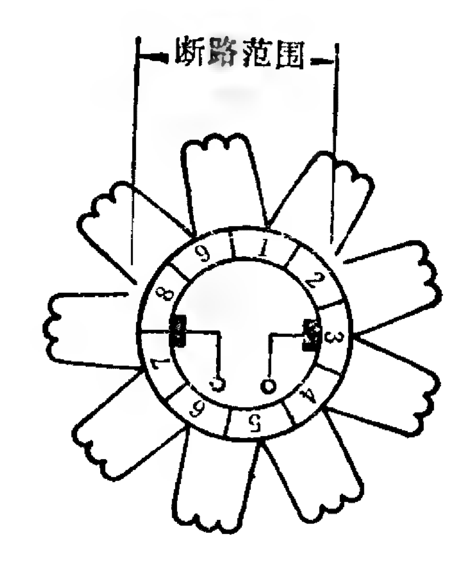


图4—6—10　两三片换向片脱焊断路

(1) 电枢静止时，若电刷所触换向片在断路范围之外，接通电源后，电枢绕组仍有电流通路，所以电动机此时能够起动。在运转过程中，虽然电刷触在断路范围内的换向铜片上而电路断开，但是，惯性作用使电枢继续旋转，使电刷再度接触到断路范围之外的换向片上，电流通路再次形成。由于整个电枢绕组中，有一部分绕组不能起作用，所以电枢所受电磁力矩很不平衡，致使电枢的转速很不稳定。

若电枢绕组的断路范围不超过换向器片数的二分之一时，其断路范围愈大，则电枢的转速愈不稳定。同时，电动机能够起动的几率也愈小。

如果断路范围超过了换向片数目的二分之一，那么，接通电源后，不论电刷触在任何换向铜片上，电枢绕组均不能形成通路，电动机均不能起动，如图4—6—11所示。

(2) 电枢静止时，电刷如果正好触在断路的换向片上，则此时电枢绕组的两条并联支路全部中断，所以电动机无法起动，如图4—6—11中，若电刷触在第1片换向铜片上，就是这种情况。

电枢绕组的断路点，可以用万能表对相邻的两个换向片进行量测来判断。若测得每相邻两换向片间的电阻值大致相等，

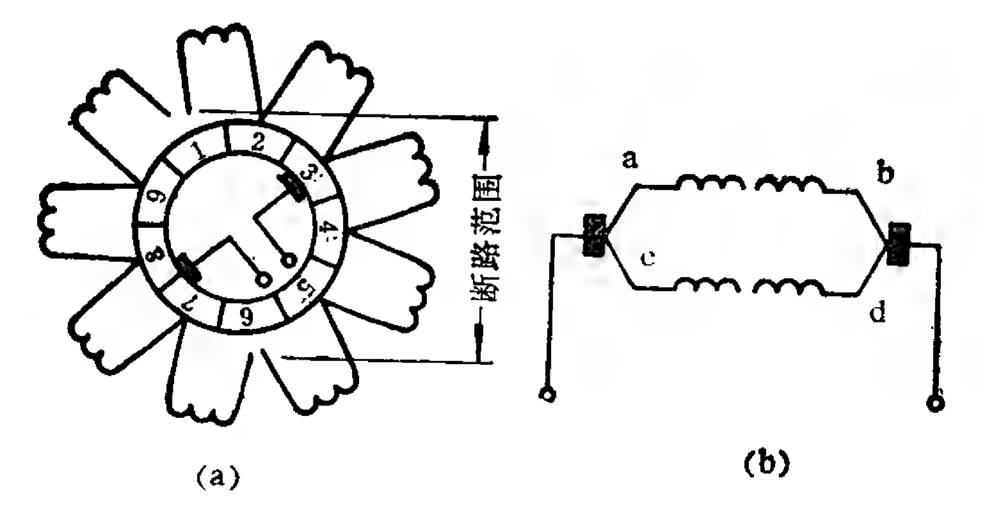


图 4—6—11 电枢绕组断路范围大于换向片的一半

则说明电枢绕组没有断路故障。如果测得某相邻两片换向片间的电阻值比其他相邻两片间的电阻值大得多，则表明后测量的那片换向片所连接的线圈有一根导线断路。若万能表上电阻指示为无限大，则表示后测量的那片换向片上连接的线头全部断路，或者是焊接处有一根导线断开，并在该线圈的其他地方还有断路故障存在。

找到断路位置之后，将部分捆扎在绕组外面的蜡线拆除，再仔细找出断头位置。如果是脱焊，只须重新焊接即可；若线头断处在电枢颈部，则须再拆除一部分捆扎蜡线，在断头处焊接一根导线，并套上绝缘套管，然后重新捆扎蜡线；如果断路处在电枢铁芯槽内，此时可将断路的那只线圈所连接的两换向片上跨接一根短路铜线，或将这两相邻换向片直接短路。如此处理之后，电钻可继续使用，如图 4—6—12所示。然而，当断路点多的话，则不能采用此法。因为被直接短接的线圈愈多，将造成电枢绕组的匝数大量减少，致使电枢的转速不稳定，并引起电枢发热。因此，当电枢绕组中出现 4 个线圈断路时，则必须重新绕制电枢绕组。

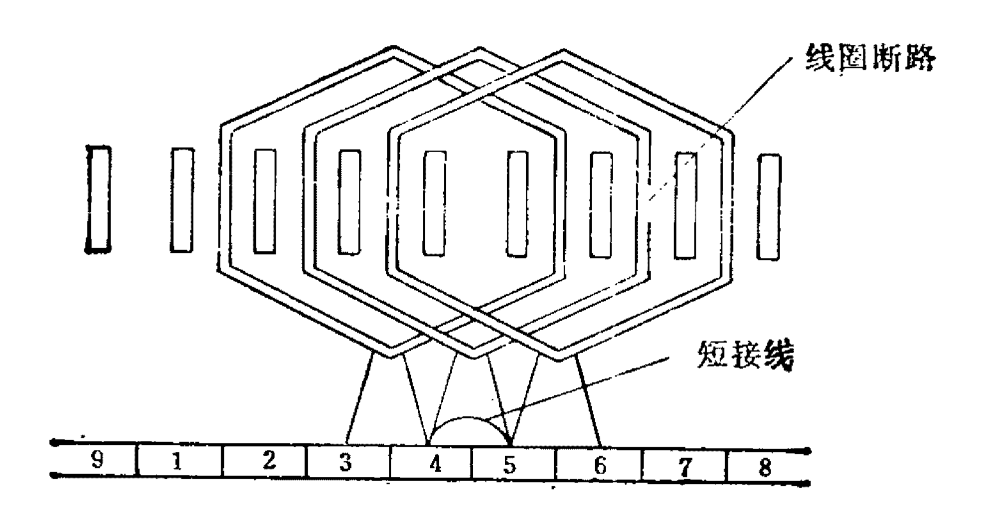


图 4—6—12　短接线的连接方法示意图

2. 电枢绕组或换向器的短路

单相串激手电钻的电枢绕组短路是较常见的故障。发生短路的原因很多，主要原因有：

（1）单相串激电钻大多接在频率为50赫兹的单相交流电源上，而电钻的空载转速每分钟可能高达10000多转，因而换向器中的电流换向次数也高达每分钟20000多次，虽然带上负载后转速会降低，但是负载电流却比空载电流大得多。由于串激电动机的主磁通在电枢绕组中所感应的旋转电抗电势E_{np}较大，且变化剧烈。同时，由于电钻运行在交流电网上，换向器两端还有变压器电势存在，这就容易将导线间的绝缘击穿，从而造成电枢绕组的短路。

（2）在使用电钻时，如果出现超负载运行的情况，则电枢电流将超过额定值，久而久之，使电枢绕组发热，温度升高，造成绝缘的老化加速。若超载时间长，便容易引起电枢绕组的短路。

（3）造成电枢绕组短路的另一个原因是电枢在运转时，电刷与换向器之间在不断摩擦，可能有碳粉夹入换回铜片之间的

绝缘间隙内，使换向片短路而出现环火，也将造成电枢绕组的短路。

电枢绕组短路后，将出现下述现象：电枢转速很慢，转矩很小，在换向器与电刷之间往外飞溅略带绿色的火花，并且很快就严重发热，乃至冒烟。与此同时，还伴随着较大的噪音。电枢短路严重时，接通电源后，电枢不能转动，而只发出嗡嗡声。

电枢绕组的短路如果发生在铁芯槽外，那多半是由于绕组的绝缘部分受到摩擦或碰伤所造成的。这种短路故障可凭肉眼看到，找到短路位置，可将此处绕组用电炉烘软，然后用划线板将短路线匝拨开，用绝缘纸或黄蜡绸进行包扎，并涂以绝缘漆、烘干后即可使用。

3.电枢绕组碰壳

实践表明，电枢槽的转角处最容易发生电枢绕组的碰壳故障。电枢绕组碰壳后，将出现下述两种不同的情况：

（1）电枢静止时，电枢绕组的碰壳点位于电刷下面或接近于电刷，若接通电源时，因为电流通过电刷-电枢绕组碰壳点-接地线构成旁路，而不流过或极少流过电枢绕组，电枢便不能起动。并且保险丝将熔断。如果保险丝不熔断，则将扩大碰壳点的故障，选成电枢绕组的短路。

（2）电枢静止时，其接地点远离电刷，电源接通后，电流可在大部分电枢线圈内通过，因而电动机能够起动，但其转速很慢，转矩很小，换向器上出现较大火花，并且产生剧烈振动。此时，电枢将严重过热，甚至将电枢绕组烧毁。

电枢绕组的碰壳点如果不在电枢铁芯槽内，一般是可以修理好的。如果碰壳点在电枢铁芯槽内，那就需要重新绕制电枢绕组。

六、电枢绕组的重新绕制

单相串激电钻的电枢绕组需要重新绕制时，应依照铭牌，并根据国内成批生产的J_1Z型各种规格电钻的数据(见表4—5—3)进行。一般不要轻易改变电枢绕组的数据。对铭牌失落的空壳电钻，则可应用本章第四节所介绍的方法进行计算。

1.电枢绕组的绕制工艺

单相串激电动机的电枢绕组的绕制方法分为叠绕式和对绕式两种。

叠绕式较对绕式工艺简单、绕制方便，不易搞错。但叠绕式的绕组端接部分长度不一致，重量不平衡，电枢旋转时容易产生振动。同时由于端部长度不均匀，电刷所连接的电枢中两条并联支路的电流不可能很平衡。对绕式虽然工艺比较复杂，但它却具有绕组端接部分重量能均匀分布、两并联支路中电流平衡等优点。

一般小规格的单相串激电钻电动机的电枢绕组采用叠绕式；而规格较大的单相串激电动机的电枢绕组多采用对绕式，以便使电枢获得较好的动平衡。

由于电枢铁芯有单数槽与双数槽之别，因而在绕制方法上，又有单数槽叠绕法、双数槽叠绕法、单数槽对绕法和双数槽对绕法之分。

单数槽叠绕法与双数槽叠绕法的绕制工艺完全一样，只不过是其线圈的节距不同而已。

电枢绕组的导线并绕根数应根据换向片数与铁芯槽数之比来确定，一般常见的单相串激电钻电动机电枢的换向片数与电枢铁芯槽数之比为2:1或3:1。例如J_1Z--6型单相串激电钻，电枢的换向片数为27片，电枢铁芯槽数为 9 槽，每槽单层线圈 总匝数为126，则电枢绕组的导线应3根并绕，并绕匝数为42匝。

下面以 9 槽、9 片的电枢为例，来分别说明叠绕式和对绕式工艺。

（1）叠绕式　根据公式（4—4—2），其线圈节距：

$$y_2=\frac{Q-1}{2}=\frac{9-1}{2}=4，即y_2=1\sim5。$$

于是，先在第 1 槽与第 5 槽间绕第 1 个线圈，再在第 2 槽与第 6 槽间绕第 2 个线圈。然后依次绕第 3 个线圈、第 4 个线圈……，直到绕完为止，其绕制步骤如图 4—6—13所示。

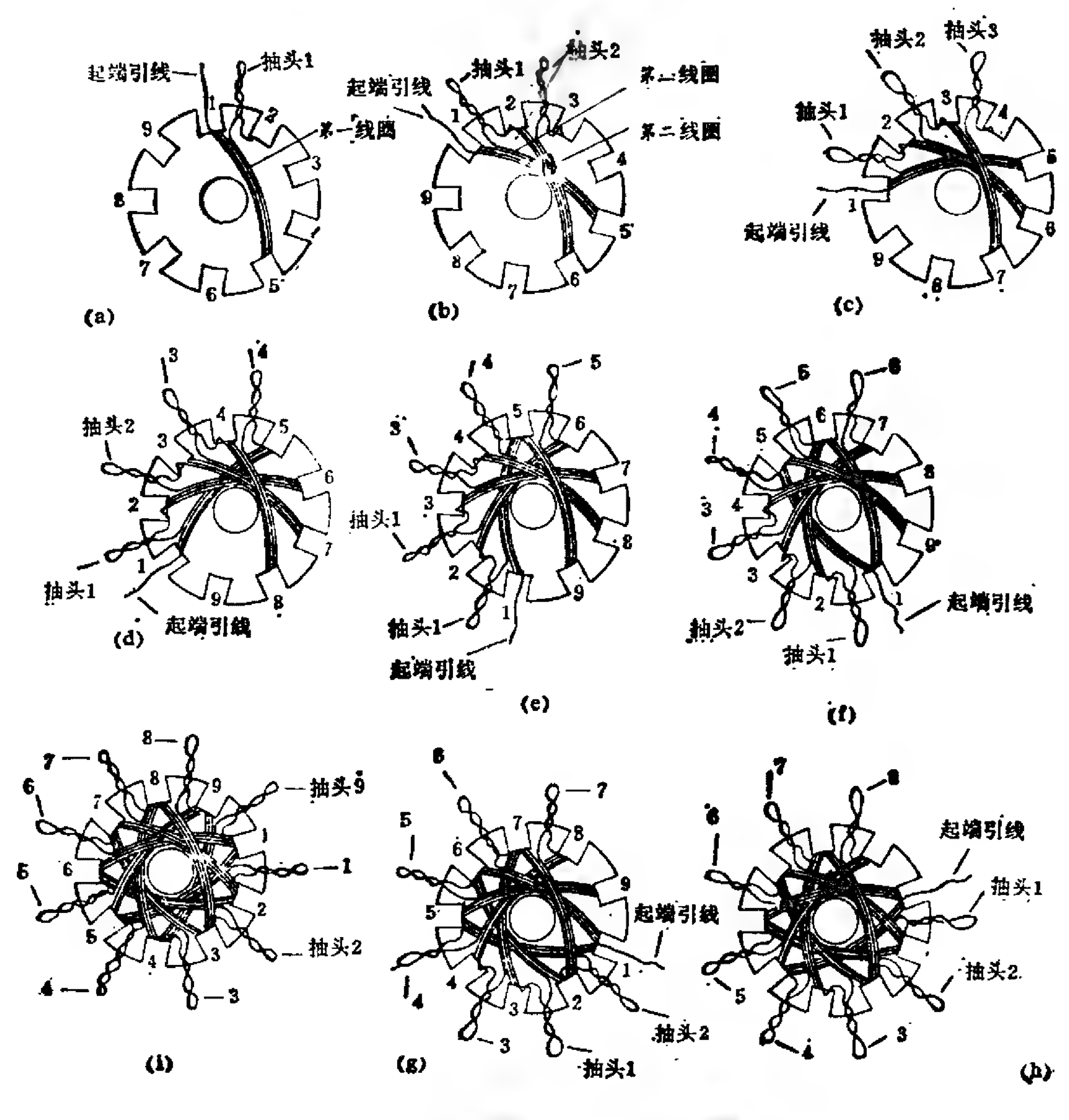


图 4—6—13　叠绕式绕制步骤示意图

（2）对绕式　对绕式是先在第1槽与第5槽间绕一个线圈，然后在第5槽与第9槽间绕第二个线圈，接着在第9槽与第4槽间绕第三个线圈。依此类推，直至回到第1槽使整个电枢绕组闭合为止。如图4—6—14所示。

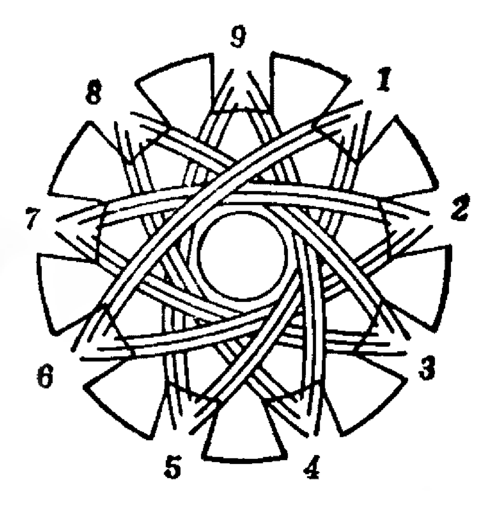


图4—6—14　对绕式绕制步骤图

每个线圈的头尾引线，应便于连接到换向片上。绕制工作全部完成后，再进行换向片的焊接工序。

一般单相串激电钻的电动机电枢，其换向片数为铁芯槽数的2倍或3倍，那么，其线圈个数必须等于换向片数，因此，铁芯槽每槽的上层和下层都有2个或3个线圈边。例如J_1Z—6型交直流两用电钻，其电枢铁芯槽数为9槽，换向片为27片，那么它共有27个线圈，每个槽的上层和下层都有3个线圈边，可用三根导线并列绕制。在绕制时，可把每个线圈的起端引线接到相应的换向片上，而把所有线圈的尾端空着，暂不接到换向片上，如图4—6—15所示。待整个电枢绕组各线圈的起端与换向片连接好后，再将各个线圈的尾端对号入座与换向片连接。

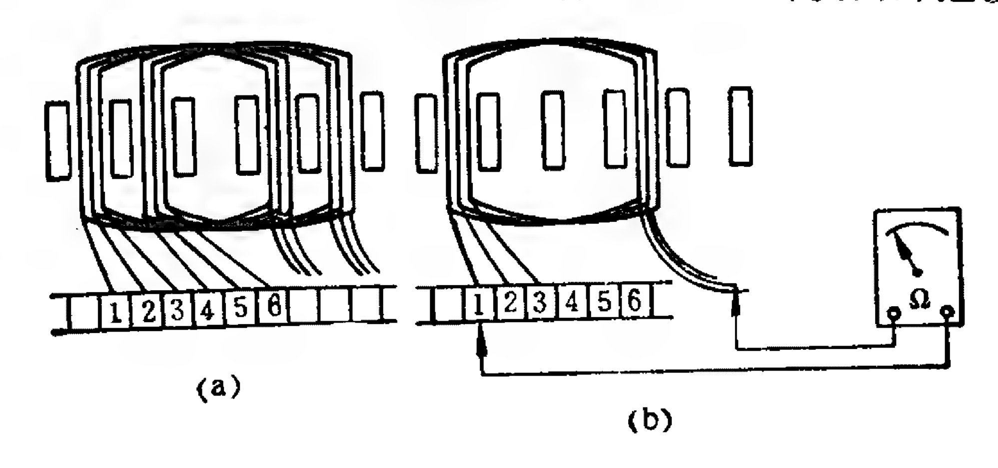


图4—6—15　电枢绕组与换向片的连接

其具体做法是这样的：将万能表转到欧姆档，表笔之一接触到换向片 1 上，另一支表笔接触到线圈空悬着的尾端，观察万能表的指针，若形成通路，则该引出线为线圈 1 的尾端，把这个尾端接到换向片 2 上。用同样的方法找出线圈 2 和线圈 3 的尾端，并分别接在换向片 3 和 4 上。如图 4 — 6 —15(b) 所示。依此类推，将整个电枢绕组的各线圈引线都接到相应的换向片上，然后将其焊牢。

需要指出，在将各个线圈引出线接至换向片上之前，先要确定引出线偏斜的方向和偏斜的换向片数。单相串激电钻电枢线圈引出线偏斜的方向应与电枢的旋转方向一致。确定电钻的旋转方向后，再看清楚槽中心线所对正的是换向铜片呢？还是换向铜片之间的绝缘云母片。若铁芯槽中心线所对正的是换向铜片时，则可将线圈的引出线朝电枢旋转方向偏斜一片换向片焊接，如图 4 — 6 —16所示。若是铁芯槽中心线对正的是换向片之间的绝缘云母片时，则线圈的引出线应朝电枢旋转方向偏斜一片或两片换向片焊接，如图 4 — 6 —17所示。

为什么不把线圈的引出线直接焊接在和铁芯槽中心线对正的换向片上，而常常把线圈的引出线沿电枢旋转方向偏斜一片或两片换向片呢？这

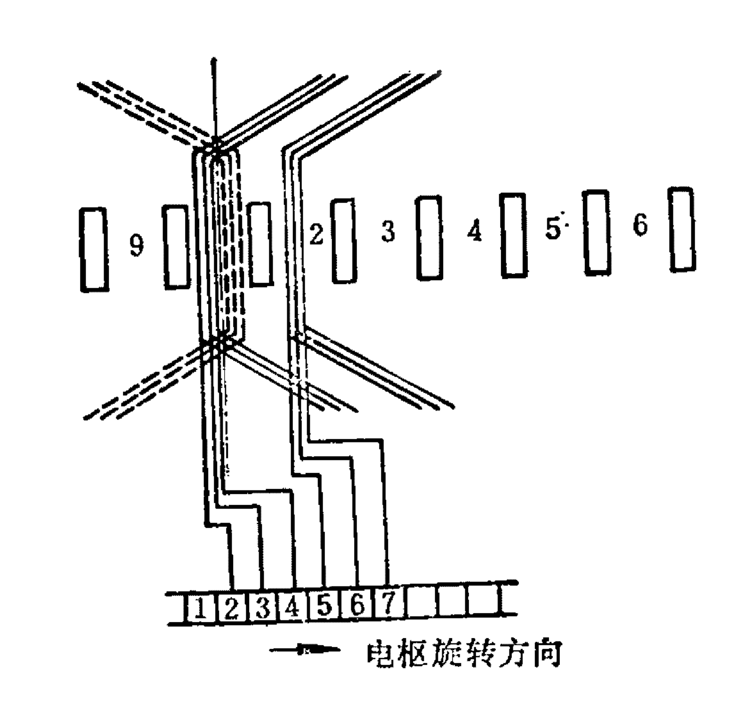


图 4 — 6 —16　槽中心线对正铜片时，线圈引出线的偏斜

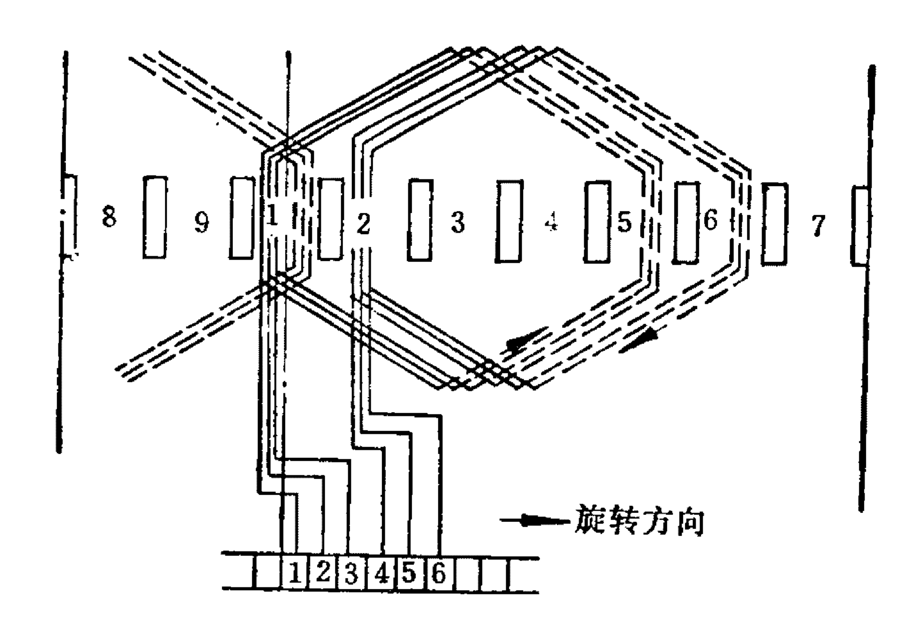


图 4—6—17　槽中心线对正云母片时，线圈引出线的偏斜

是因为，电刷是经常和两片或三片以上的换向片接触的，这些被电刷接触到的换向片间的线圈被短路。如果被短路的线圈处于磁场N极和S极之间的中性区，则线圈内的感应电动势很低，短路电流便很小，换向器与电刷间基本上没有火花，或火花很微弱。如果短路线圈不是处于磁场N极和S极之间的中性区，则线圈内的感应电动势较大，短路电流也较大。因此，在换向器与电刷之间将出现很大火花。由此得出结论：焊接换向片时，应使被电刷所短路的线圈位于磁场N极和S极之间的中性区域，并且尽可能在中性区的中心线附近，才能避免换向器与电刷之间发生火花。

然而，在这里还要考虑到电枢反应所带来的影响：由电机学中的有关理论可知，直流电动机电枢磁通的方向和主磁极磁通的方向，在前极端是一致的，而在后极端，二者的方向则是相反的。于是电枢反应的结果，使电机气隙合成磁场在前极端是增强的，在后极端则是削弱的。因此，其合成磁场的物理中性面便逆着电动机的旋转方向移动了一个α角，如图 4—6—18所示。

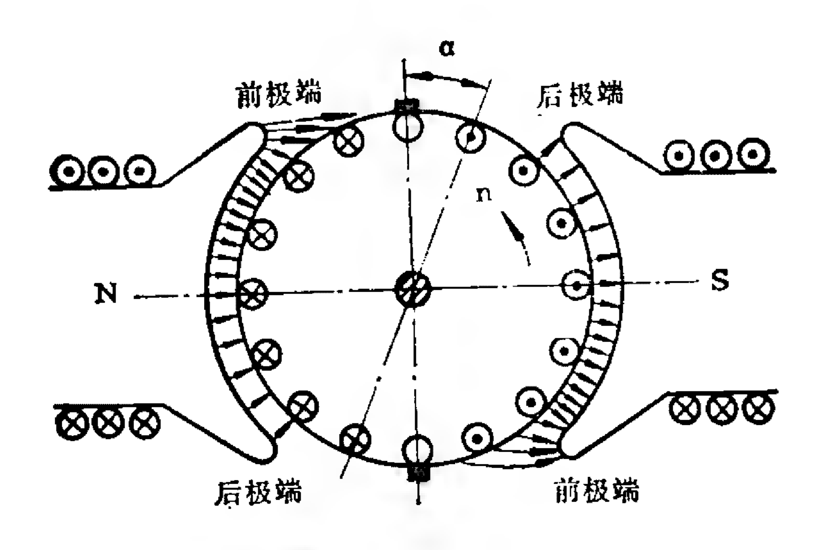


图 4 — 6 —18　气隙合成磁场逆着旋转方向移动α角

由图 4 — 6 —18可见，由于电枢反应的存在，使原来处于几何中性面的线圈边实际上已不在磁场的中性线上了。如果仍按几何中性线来设计绕组焊接在换向片上的位置时，势必在换向器上产生较大火花。为此，对于电刷架可以移动的串激电动机，只需要把电刷逆着电枢旋转方向往后移动一个α角，即可减弱火花。但是，目前使用的单相串激电钻，其刷架大多固定在磁场的几何中性线上而不能移动。因此，为了减弱火花，而把电枢绕组的引出线顺着电枢旋转方向偏斜一片或两片换向片焊接。它与逆着电枢旋转方向移动电刷位置有着异曲同工之效。当然，也有少数单相串激电钻电枢绕组线圈引出线焊接在与铁芯槽中心线对正的换向片上的，这是由于在设计时，其内部磁极与刷架的相对位置有所不同。在修理中重新绕制电枢绕组时应加以注意。

必须指出，电钻钻头的旋转方向不一定就是电动机电枢的旋转方向。这要视电动机电枢与减速齿轮的配置情况而定。若其减速箱是二级齿轮减速，则电钻钻头的旋转方向便与电动机电枢旋转方向相同；若其减速箱是一级齿轮减速，则电钻钻头

的旋转方向适与电动机电枢旋转方向相反。

七、电枢绕组重绕后的检查

单相串激电动机电枢绕组的重绕，工艺较复杂，引线多且导线细，往往容易弄错。所以，必须在浸漆烘烤之前，对重绕的电枢绕组进行短路、断路和是否接错的检查。

1. 电枢绕组断路的检查

重绕电枢绕组后，电枢绕组的断路，一般最容易发生在绕组与换向片的焊接部分，它多是由于虚焊所引起的。因此，掌握正确的焊接方法、提高焊接质量是问题的关键。

电枢绕组线圈引出线的焊接位置确定以后，应根据电枢的大小选择合适的电烙铁。再将线头按焊接次序排列好，焊接方法如图 4 —6 —19所示。焊接时，应使用松香、酒精焊剂。把线头嵌入换向铜片的槽口内，用一根竹片按住线头，然后着手焊接。待全部焊接完后，再切除换向铜片槽外的剩余线头，最后将污物、焊锡、松香等清除干净。

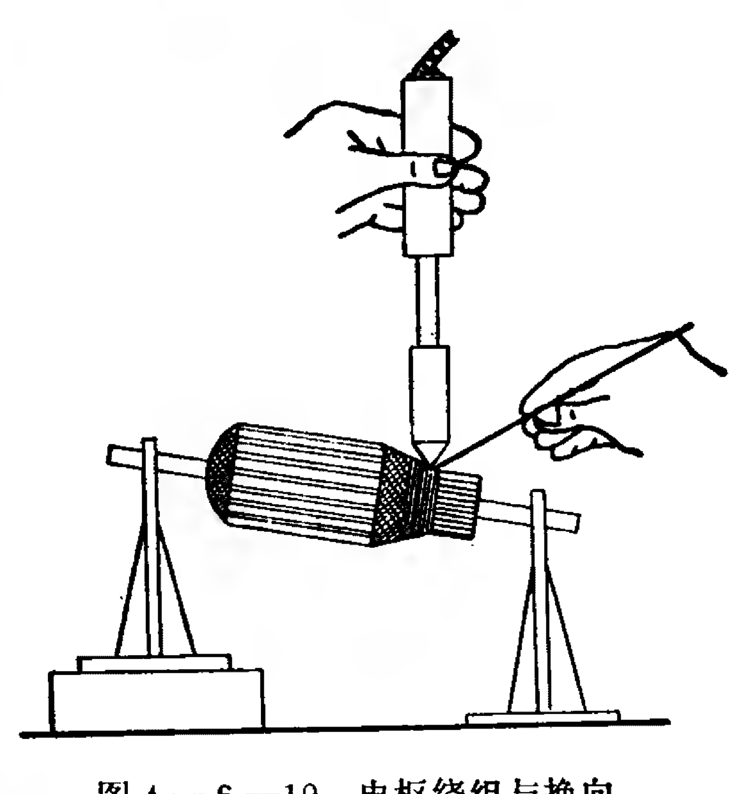


图 4 —6 —19　电枢绕组与换向片的焊接方法

电枢绕组的断路可以通过万能表很容易地检查出来。

2. 电枢绕组的短路或接法错误的检查

电枢绕组短路的检查有几种简易方法，下面作扼要地介绍。

(1) 万能表法　对于匝数较多的电枢绕组(如220伏单相串激电动机)，由于其绕组的电阻值较大，所以可用一般万能表来进行检查。其具体方法是用万能表的两支表笔测量其对角的换向片间的电阻值，如图4—6—20所示。慢慢旋转电枢，若万能表上所指示的电阻值与相邻换向片之间的电阻值相等时，则表明被测的一只线圈已被短路。此时，若经过试运转后，能在换向片中找到黑斑点，并且换向片间的云母片也会有烧焦的迹象。

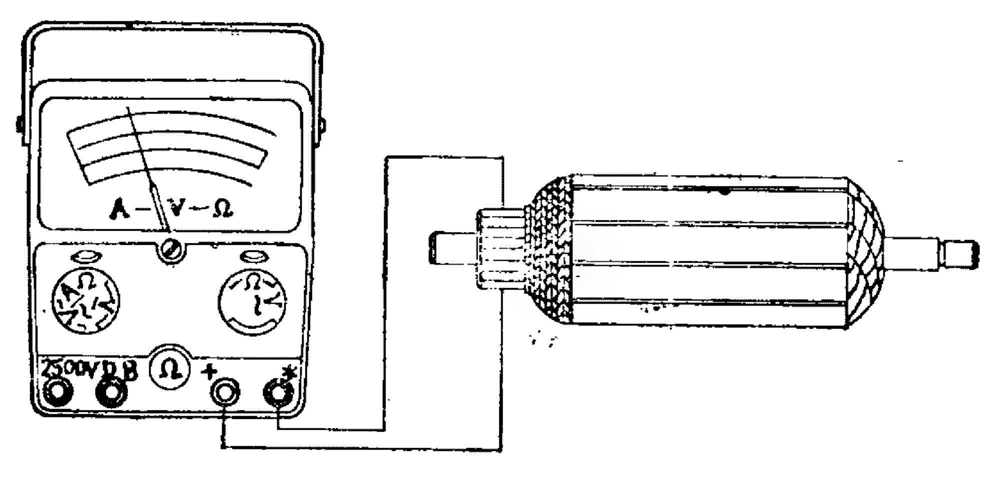


图4—6—20　万能表法示意图

用这种方法检查短路点，在短路点上，若电枢向右旋转，则万能表上指示的电阻值增大；若将电枢向左旋转，万能表上指示的电阻值就必然减小，直至等于相邻两换向片间的电阻值。

(2) 短路试验器法　对于低电压（如36伏）供电的单相串激电钻的电枢绕组，由于其电枢绕组匝数较少，而电阻值很小，因而不能用万能表来检查短路点。一般常用“短路试验器”来检查。短路试验器是用H形硅钢片叠成的铁芯，铁芯上绕有线圈，其外形如图4—6—21所示。

将电枢放在短路试验器上，取一根短锯条（或薄钢条）放在一个铁芯槽上。当短路试验器接上交流电源时，则在其铁芯内产生一个交变磁场，使电枢绕组内的磁场以50赫兹的频率交变，从而在电枢绕组内产生一个感应电动势。此时缓缓地转动电枢，当短路线圈所在槽位于锯条下面时，短路试验器所产生的磁力线与短路线圈垂直，这个局部的短路电路中将产生较大的感应短路电流，从而使电枢两槽的齿间产生了交变磁通，推斥和吸引着锯条，使锯条发生振动，这就证明了该线圈已短路，如图 4 — 6 —22所示。

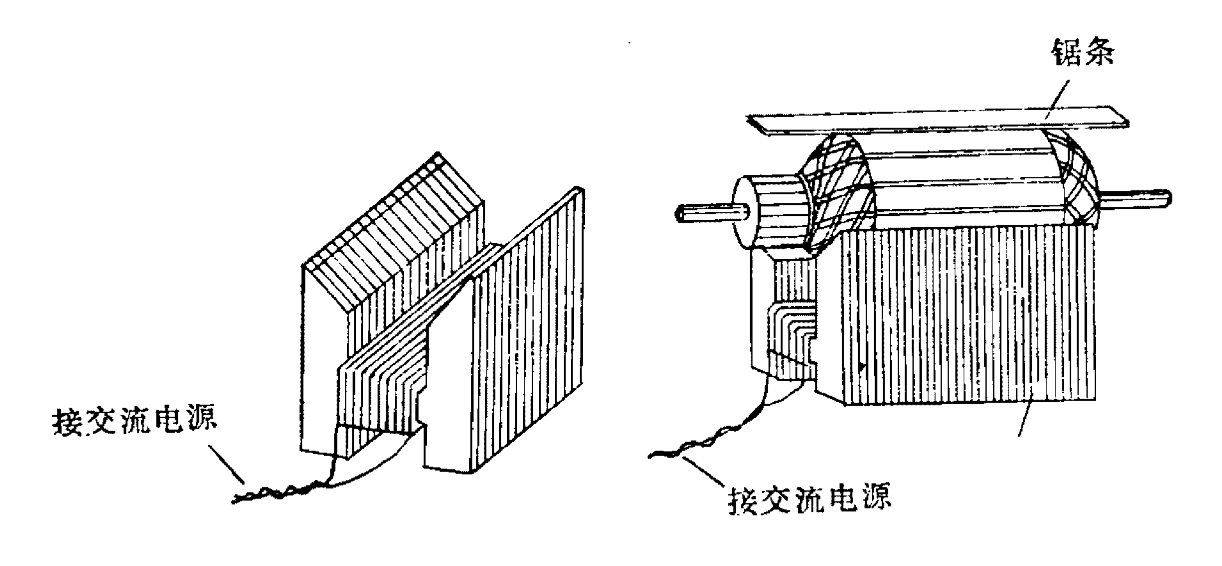


图 4 — 6 —21　短路试验器外形图

图 4 — 6 —22　用短路试验器检查电枢绕组的短路点

需要指出，在使用短路试验器时，必须按图 4 — 6 —22放上电动机的电枢后才能接通短路试验器的电源。否则，短路试验器将成为一个开口铁芯的电抗线圈而出现很大的激磁电流，致使短路试验器的线圈烧毁。

（3）直流毫伏表法　如图 4 — 6 —23所示，用一直流毫伏表依次测量相邻两换向片间的电位差。先将低压直流电源（干电池或蓄电池）接在相隔180°电角度的两换向片上，若用直流

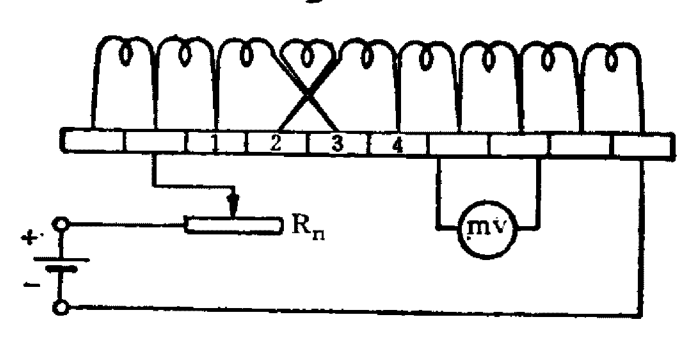


图 4—6—23　直流毫伏表法检查短路

毫伏表测出的两相邻换向片间的毫伏数基本上相等，则说明电枢绕组正常。若其中两相邻换向片间的电位差明显减小，则表明连接该两片换向片的线圈存在短路故障。若相邻两换向片间的电位差明显增大，则表明该线圈引出线与换向片焊接不良或开路。若是某个线圈的引线头接错了，如图 4—6—23中的"B"线圈，当直流毫伏表接在 1 与 2 或 3 与 4 换向片上时，则毫伏表的读数为正常情况下读数的 2 倍。

综上所述，采用如图 4—6—23所示的直流毫伏表法，只要根据毫伏表的读数情况，就可以分析判断出电枢绕组短路、断路或接错等故障。

八、换向部分故障的修理

单相串激电动机的换向部分包括换向器、电刷、刷握和刷架。和在直流电动机中一样，换向部分是单相串激电动机中的薄弱环节，它维护较麻烦，并且容易发生故障。

1.换向器铜片间短路

换向器铜片间短路多是由于片间积有灰尘引起的局部短路造成的。或是由于铜片间绝缘云母炭化所引起的。此时，可在砂轮上将废锯条磨出钩状，然后将锯条的尾部包扎起来作柄用，如图 4—6—24所示。用它去清除换向片间的污垢。若是因为

云母炭化引起的短路，则需要刮得较深。炭化了的云母呈黑色砂状，而完好的云母，刮后呈白色。把云母刮得看见白色为止，看短路是否消逝。若短路消逝后，就把研碎了的云母粉和1011绝缘漆搅拌成糊浆，然后将这种糊浆灌入被刮空的间隙中，保温烘焙7～8小时，使它硬化后即可使用。

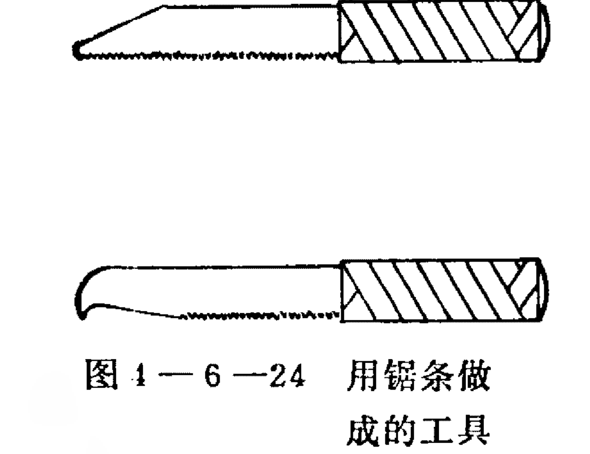


图4—6—24 用锯条做成的工具

如果短路发生在换向器较深处，锯条难以刮下去，则可将短路的两片换向片间钻一个小孔，孔的大小视换向器的大小而定。孔钻到一定深度，用万能表测量一下，看短路故障是否排除，若未排除，则须继续钻到排除短路为止。然后用前一种方法中制成的糊浆，灌入孔内，经烘焙硬化后，即可使用。

2.换向器与电刷接触不良

换向器与电刷接触不良，产生较大火花，是串激电动机的常见故障之一。它主要是由于下列原因引起的：

(1) 电刷的磨损较大，使电刷变得太短，造成与换向器的接触不良。

(2) 由于电刷的不均匀磨损，破坏了电刷与换向器表面的全面接触。

(3) 弹簧疲劳，引起弹簧压力不足。

(4) 换向器表面凹凸不平或有污物。

(5) 电刷规格选得不恰当。

在更换电刷时，应注意选用恰当的规格。电刷过硬，将造成换向器的磨损，且运行中容易产生较大火花；若电刷太软，

则电刷自身磨损太快，从而需要经常更换电刷，增加了维护工作量。并且质地太软的电刷容易碎裂。

弹簧压力要适中。弹簧压力过大时，增加了电枢运转时的摩擦力，这就相当于增加了电钻的负载，对于功率本来就很小的串激式电钻来说，影响是比较显著的，因而引起电枢发热。同时，弹簧压力过大，还会加快电刷和换向器表面的磨损。如果弹簧压力太小，则电刷与换向器表面将引起接触不良，从而产生较大火花。

在磨制电刷接触面时，在换向器圆周上包一层细砂布，将电刷按在砂布上沿轴向慢慢研磨，以使电刷接触面的圆弧能与换向器表面完全吻合。切不可用粗砂布研磨。同时，在研磨时，要注意不让炭粉落入换向片和电枢绕组内。

3. 刷握接地

刷握的接地故障也是单相串激电钻的常见故障之一。它主要是刷握绝缘受潮或损坏而引起的。一些采用盒式刷握结构的串激电钻，在调节电刷位置时，也可能引起刷握接地。

刷握发生接地后，电动机运行时的表现，随着电枢绕组与定子线圈的连接方式的不同而是多种多样的。

1. 在电枢绕组串接于两个定子线圈之间的连接方式中，刷握发生接地故障后，随着电源引线中火线与零线位置的不同而可能出现两种不同的现象：

(1) 如图 4—6—25(a) 所示的情况，当接通电源时，电流由火线经过定子线圈 2，接地刷握形成回路。此时，如果保险丝不熔断，那么定子线圈 2 将会迅速被短路电流烧坏。

(2) 如图 4—6—25(b) 所示的情况，当接通电源时，电流由电源火线经过定子线圈 1、电枢绕组和接地刷握构成回路。此时，虽然电动机能够起动和运转，但由于只有一个定子线圈

起作用，主磁通减弱了一半，所以其电枢转速比正常转速快得多。又由于主磁场的不平衡，使电动机运转时出现剧烈振动。同时，还可见到电刷与换向器之间的绿色火花。时间稍长，电动机发热，引起绕组烧毁。

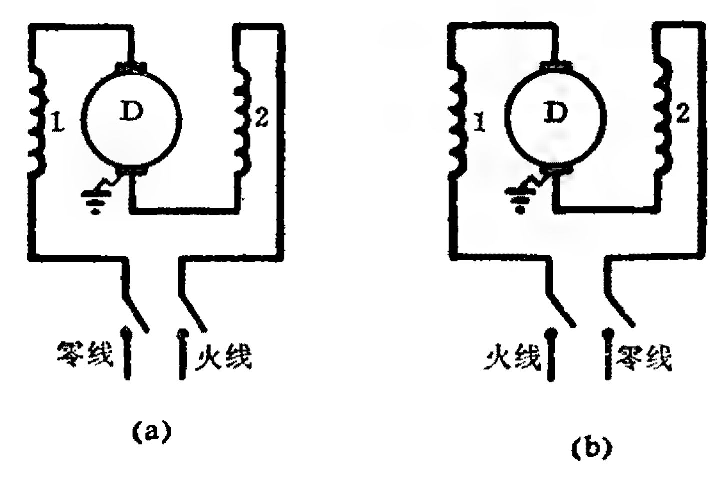


图 4 — 6 —25　刷握接地的不同情况

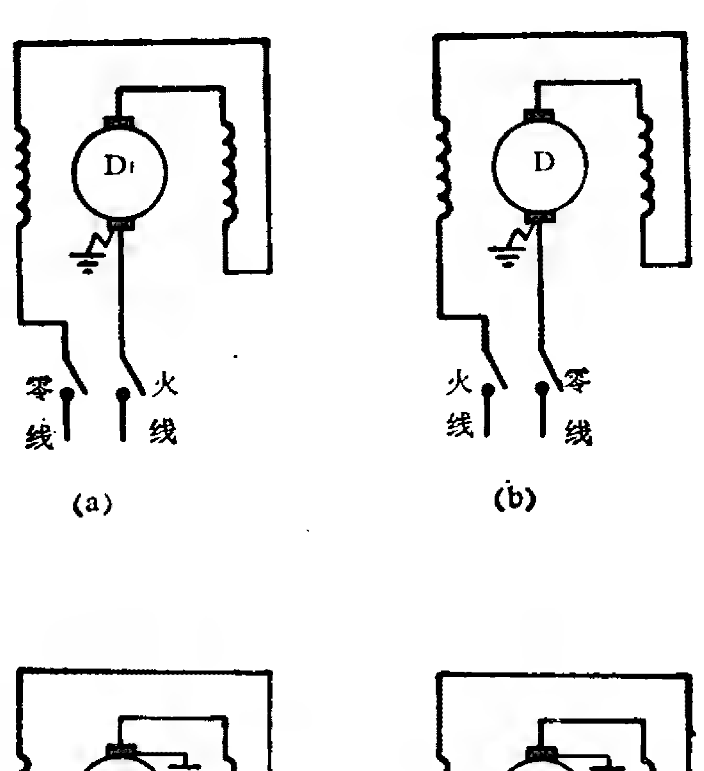
2.在电枢绕组串接于定子线圈之外的连接方式中，若发生刷握的接地故障，则有下列四种不同情况：

(1) 如图 4 — 6 —26(a) 所示的情况，当电源接通时，电源火线直接与大地短路，保险丝立即熔断。

(2) 图 4 — 6 —26(b) 所示情况，电源接通时，其电流由电源火线与定子线圈、电枢绕组和接地刷握构成通路。电动机起动和运转正常，只不过是以电钻的外壳作为电流回路的一部分。

(3) 图 4 — 6 —26(c) 所示情况，当电源接通时，电源火线只经过电枢绕组而接地。此时，保险丝不一定熔断，电动机也能起动运转。但由于整个定子线圈被短接，主磁场仅有一点剩磁起作用，所以转速极快，电动机转矩非常小，而且电枢绕组将很快被烧坏。

(4) 图 4 — 6 —26(d) 所示情况，当电源接通时，电源火



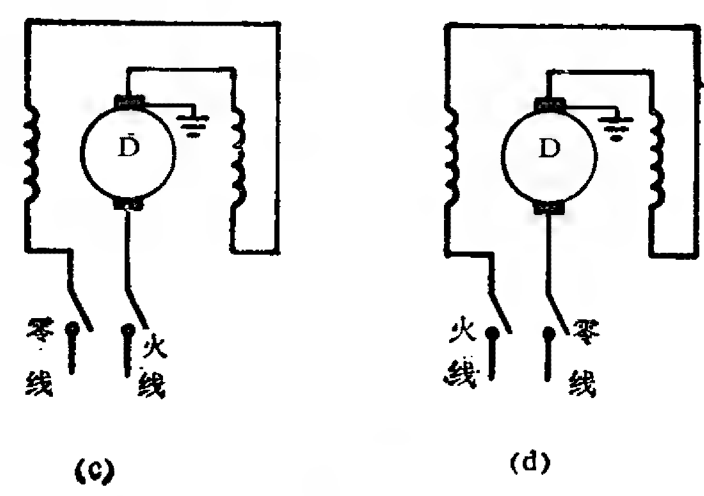


图 4—6—26　刷握接地的不同情况

线仅经过定子线圈而与地短路，此时，电源保险丝应立即熔断。若保险丝不熔断，则定子线圈将很快被烧毁。

刷握的接地，通过万能表的测量很容易判断。判断之后，将接地刷握拆下来进行检查修理或更换新刷握。

为方便起见，将单相串激式手电钻的常见故障及其处理方法列于表 4—6—3 中。

表4—6—3　单相串激电钻的常见故障及其处理方法

故障现象	产　生　原　因	处　理　方　法
电路不通，不能起动	1. 电源线断线或接头松脱 2. 电源无电压 3. 电刷与换向器接触不好 4. 定子线圈或电枢绕组开路 5. 开关损坏或接触不良	1. 更换电源线或紧固接头 2. 检查电源电路 3. 调整弹簧压力 4. 接通电路或更换绕组 5. 修理开关或更新
电路通，但空载时不能起动	1. 电枢绕组短路，换向片间有导电粉末 2. 定子线圈受潮、短路或绝缘损坏 3. 电刷不在中性位置上，换向器工作不正常 4. 轴承过紧，以致电枢被轧住	1. 消除短路，清除导电粉末 2. 烘烤或更换定子线圈，处理绝缘损坏点 3. 移正电刷位置 4. 清洗轴承或更换新轴承
电路通，但负载时不能起动	1. 电源电压过低 2. 定子线圈受潮、短路或绝缘损坏 3. 电刷不在中性位置上	1. 设法调整电源电压 2. 烘烤、更换定子线圈或加强绝缘 3. 移动刷架位置，使之位于中性位置上
电动机旋转但电钻轴不转	齿轮轴或半圆键折断	更换齿轮或半圆键
对地短路	1. 电源线接地 2. 定子线圈通地 3. 电刷架通地 4. 换向器或电枢绕组通地	1. 修复或更换电源线 2. 找出通地点，加强绝缘 3. 更换新刷握或进行修理 4. 找出通地点，进行处理或重绕电枢绕组

续表 1

故障现象	产　生　原　因	处　理　方　法
空载时，保险丝熔断	1.电枢绕组短路	1.修理或重绕
	2.电刷架短路	2.拆下电刷架进行修理
	3.电源线短路	3.修复或更换电源线
	4.轴承过紧	4.清洗轴承或更新
	5.定子线圈短路	5.修复或重绕定子线圈
	6.电刷不在中性位置	6.校正刷握位置
负载时，保险丝熔断	1.电源电压太高	1.调整电源电压
	2.电枢绕组、定子线圈或换向器短路	2.找出短路点，进行修复或更新
	3.电刷不在中性位置上	3.校正刷握位置
换向器上出现环火	1.电枢绕组断路或短路	1.找出断路或短路点，进行处理
	2.电刷与换向器接触不良	2.修磨电刷接触面、调整弹簧压力
	3.换向器表面凹凸不平	3.在车床上车平换向器表面
	4.电源电压过高	4.调整电源电压
电刷冒火花	1.电刷不在中性位置	1.校正刷握位置
	2.电刷太短或弹簧压力不足	2.更换电刷或弹簧
	3.电刷与换向器接触不良	
	(1)电刷或换向器上有污物	(1)清除污物
	(2)电刷不纯，含有硬石屑或其他杂质	(2)更换电刷
	(3)电刷与换向器表面接触不良	(3)调整弹簧压力，修磨电刷
	4.换向器表面凹凸不平	4.将换向器进行磨削加工
	5.换向片间云母片凸出	5.刻除凸出的云母片

续表 2

故障现象	产生原因	处理方法
电刷冒火花	6.定子线圈断路	6.查出故障点进行修理或重绕定子线圈
	7.电枢绕组、定子线圈或换向器接地	7.找出接地点，进行修理或更新绕组
	8.换向片间短路	8.刮去损坏的云母，灌入绝缘漆并烘干
	9.刷握通地	9.拆下刷握进行修理
	10.电枢绕组反接	10.换接电枢绕组
	11.电枢绕组断路	11.找出断路点，进行修理
	12.电枢绕组短路	12.找出短路点，进行修理或重绕电枢绕组
轴承发热，引起电钻过热	1.缺乏润滑油	1.添加润滑油
	2.润滑油不干净或变质	2.更换润滑油，清洗轴承
	3.润滑油太粘	3.注入稀机油
	4.电枢轴或齿轮轴弯曲	4.校正电枢轴或齿轮轴，或更新
	5.轴承太紧	5.修磨轴颈或轴承室
轴承发热，但其温升低于电钻机壳	由于电钻过载，引起电枢绕组过热而传至轴承所引起	减轻电钻负载
整个电枢发热	1.电钻超载，引起电枢发热	1.减轻电钻负载
	2.电枢铁芯与定子磁极相擦	2.更换轴承或校正电枢轴
	3.绕组受潮	3.烘烤绕组
电枢局部发热	1.电枢绕组接反	1.改正电枢绕组接线
	2.有一个或两个电枢线圈短路	2.查出短路点进行处理
	3.有一个或两个电枢线圈断路	3.查出断路点进行处理

续表 3

故障现象	产生原因	处理方法
定子线圈发热	1.负载过大 2.定子线圈受潮 3.部分线圈短路	1.减轻电钻负载 2.烘烤线圈 3.重绕定子线圈
电钻机壳表面过度发热	1.电钻钻头迟钝或负荷过大 2.定子线圈受潮 3.电源电压太低 4.装配不当	1.磨锐钻头，减轻电钻负载 2.烘烤定子线圈 3.调整电源电压 4.重新认真装配
减速箱外壳过度发热	1.齿轮啮合过紧，或杂物落入 2.润滑油变质或有污物 3.减速箱中缺少润滑油	1.清洗齿轮，消除杂物 2.更换润滑油 3.添加润滑油
电枢发出撞击声	1.轴承损坏，引起电枢扫堂 2.散热风扇松动 3.电枢轴或齿轮箱内的齿轮损坏 4.减速箱内润滑油不足或不干净	1.更换轴承 2.紧固风扇，或更换风扇 3.更换齿轮或校正电枢轴 4.添加或更换润滑油，并清洗齿轮
电刷发出较大的嘶嘶声	1.电刷质量太硬 2.电刷弹簧压力太大	1.更换电刷 2.调整弹簧压力
电刷发出嘎嘎响声	1.换向器片间云母片凸出 2.换向器铜片凹凸不平 3.电刷尺寸不符合要求 4.轴端的空隙不当	1.剔除云母片凸出部分 2.在车床上车平换向器铜片表面 3.更换尺寸适当的电刷 4.调整空隙

续表 4

故障现象	产　生　原　因	处　理　方　法
电钻转速太慢	1.电钻负载过大 2.电源电压太低 3.轴承太紧，或轴承内有杂物 4.电刷不在中性位置 5.电枢绕组轻微短路 6.换向器铜片短路	1.减轻电钻负载 2.调整电源电压 3.清洗轴承 4.校正刷握位置 5.找出短路点，进行修理 5.清除短路，并灌入绝缘漆烘干
电钻转速太快	1.电源电压过高 2.定子线圈短路 3.电刷不在中性位置	1.调整电源电压 2.查出短路点，进行修理，或重绕定子线圈 3.校正电刷位置

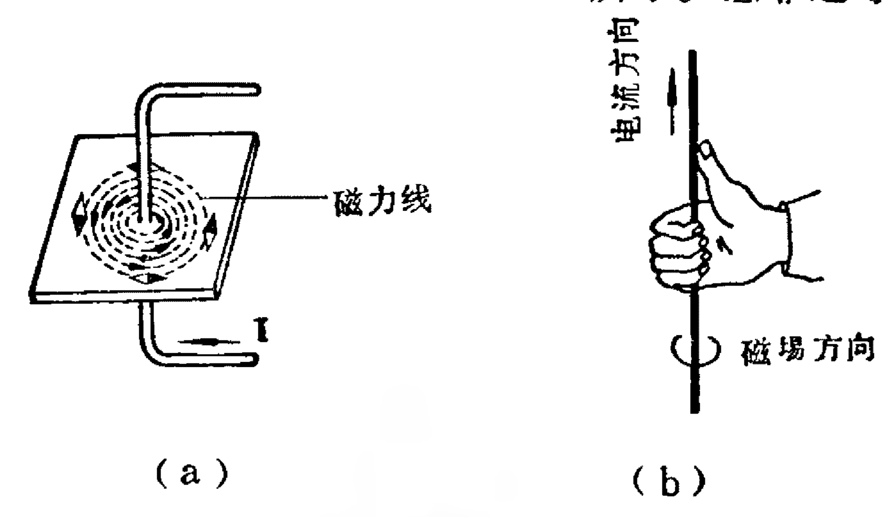
附　　录

附录一　磁路及其计算

一、磁力线

我们用电力线来形象地描绘电场。在磁场中，我们也利用磁力线来形象地描绘磁场。磁力线是按照这样的规则画出来的：磁力线上每点的切线方向和这一点的磁通密度方向一致，同时，应使通过垂直于磁场的单位面积（平方厘米）的磁力线数等于（或正比于）该点磁通密度的数值。所以，磁力线不仅可以表示磁场的方向，而且还可以反映出磁场的强弱，即磁力线密的地方磁场强；磁力线稀的地方则磁场弱。

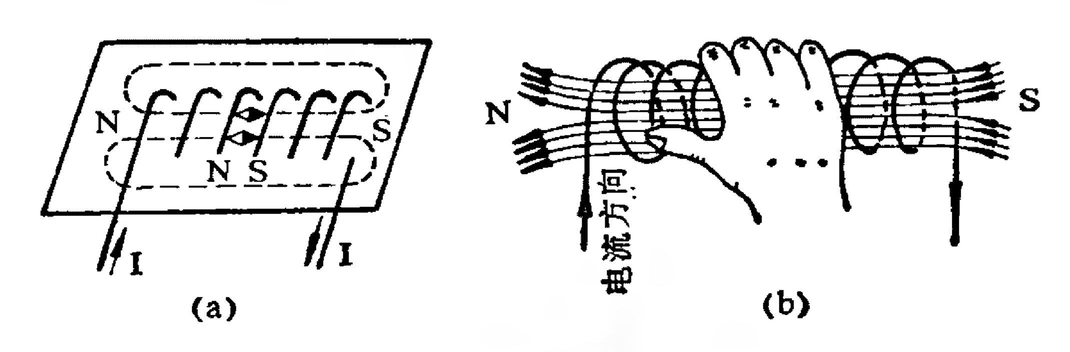
磁力线尽管是假想的线，但它可以通过实验的方法显示出来。把一根长直导线垂直地穿过一纸板，在纸板上撒上一层铁屑（或一枚小磁针），然后使电流通过导线，用手轻敲纸板，铁屑就在导线周围排列成同心圆，如图Ⅰ—1(a)所示。愈靠近导线，



图Ⅰ—1　长直载流导线的磁场

磁力线愈密，表明磁场愈强；离导线愈远，磁力线愈稀，表明磁场愈弱。当电流方向改变时，磁针的方向也随之改变，说明磁力线的方向也随之改变了。由此可以看出，磁场方向与产生磁场的电流方向有一定的关系，这个关系可用右手螺旋定则确定。即用右手握住导线，使伸直的拇指指向电流方向，则其余四指所指的方向就表示磁力线的方向，如图Ⅰ—1(b)所示。

如果把导线绕成线圈，在线圈中通以电流，则将产生如图Ⅰ—2(a)所示的磁场。此时，磁场方向与产生磁场的电流方向之间的关系仍可用右手螺旋定则确定，即用右手握住线圈，让四个手指的方向和线圈中的电流方向一致，则伸直的拇指所指的方向就是磁力线的方向，如图Ⅰ—2(b)所示。



图Ⅰ—2　螺旋管磁场

二、磁通及磁通密度

在磁场中，通过与磁场方向垂直的某一截面积的磁力线的数目叫做穿过该截面的磁通，通常用字母ϕ表示。其单位为马克斯韦尔，简称“马”。较大的单位为韦伯，简称“韦”，1马＝10^{-8}韦。单位面积上的磁通量就叫做磁通密度，又称做磁感应强度。其单位为高斯，1高斯＝10^{-4}韦伯/米^2。磁通与磁通密度之间的关系为：

$$\phi = B \times S \qquad (\text{Ⅰ}—1)$$

由于磁力线是闭合的，磁通也是闭合的，因此，对任何一

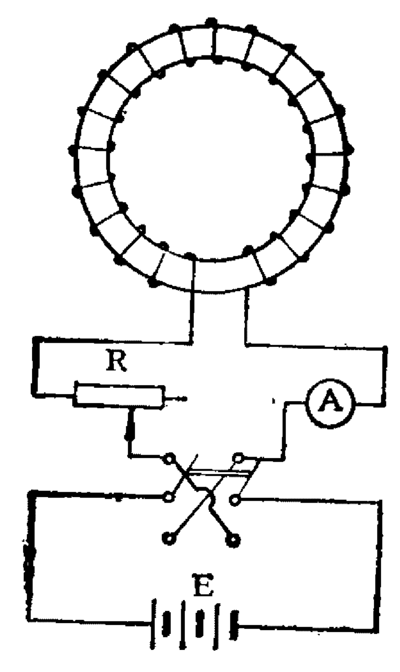
个封闭的曲面而言，穿入的磁通总是等于穿出的磁通，这就是所谓的磁通连续性原理。

三、铁磁物质的磁化

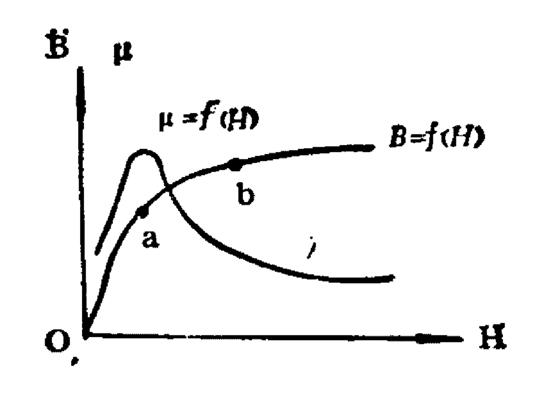
铁磁物质的导磁率很高，有的可达真空导磁率的几千倍，甚至几万倍。因而铁磁物质被磁化时，将呈现出很大的磁性，使磁场大为加强。因此，铁磁物质在电工中得到了广泛的应用。

铁磁物质的磁化特性通常由它的磁通密度B与磁场强度H的关系曲线来表示，这类曲线称为磁化曲线。

取一块完全未被磁化的铁磁材料，作为试样，采用如图Ⅰ—3所示的线路图对它进行磁化。通过测量仪表（图中未画出）可以获得当磁场强度H=0时，磁通密度B=0，随着磁场强度H的升高，磁通密度B也增强，每一个不同的H值都对应着一个B值。如果用纵座标表示磁通密度B，用横座标表示磁场强度H，那么可以作出一条曲线，如图Ⅰ—4所示。这条B和H的关系曲线B=f(H)就叫做起始磁化曲线。



图Ⅰ—3 磁化曲线的测定

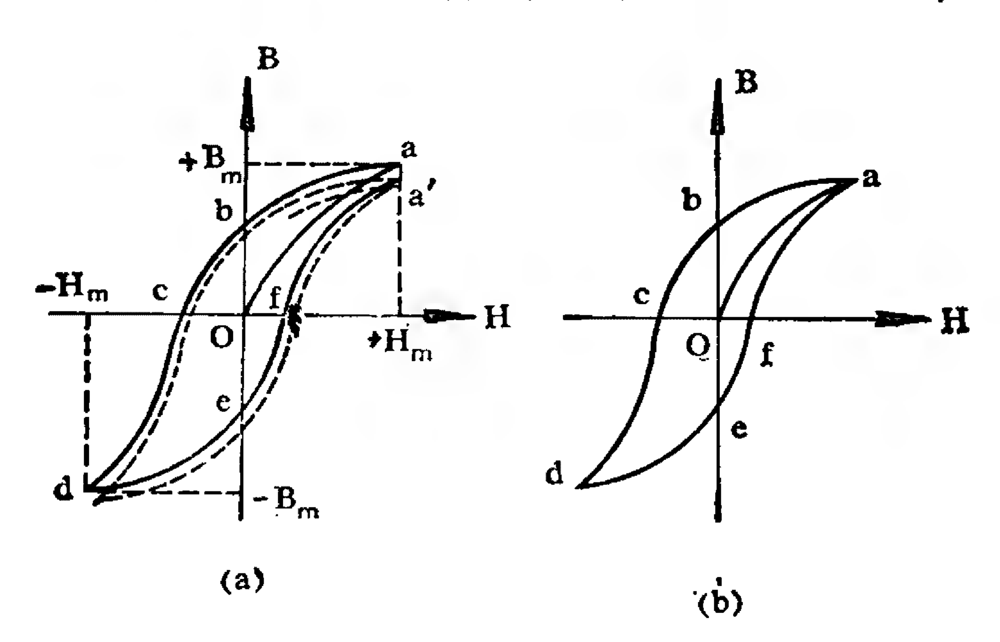


图Ⅰ—4 起始磁化曲线和导磁率曲线

由图Ⅰ—4所示的磁化曲线可以看出，这条曲线可分为三段，oa段，磁通密度B随着磁场强度H的增加而增加得很快；ab段，磁通密度B的增长逐渐缓慢下来；到了b点，即使磁场强度H继续增加，但磁通密度B的数值增加得很少。也就是说，铁磁物质已达到了饱和状态。由于$B=f(H)$曲线是非线性的，所以，它的导磁率μ($\mu=\frac{B}{H}$)不是一个常数，如图Ⅰ—4中所示的$\mu=f(H)$曲线。

四、反复磁化和磁滞回线

反复磁化，就是利用图Ⅰ—3中所示的磁化电路，反复改变电流的大小和方向，对铁磁物质进行磁化的过程。开始将电流逐渐增大到正方向最大，由于磁场强度正比于电流，因此，H也逐渐增大到正方向的最大$+H_m$，磁通密度B沿着起始磁化曲线变化到正的最大$+B_m$，如图Ⅰ—5(a)所示。然后将电流逐渐减小到零，则H也由$+H_m$变化到零。但实验表明，B沿着ab曲线下降，并不回到零，而保持一定的值，图Ⅰ—5(a)中b点所

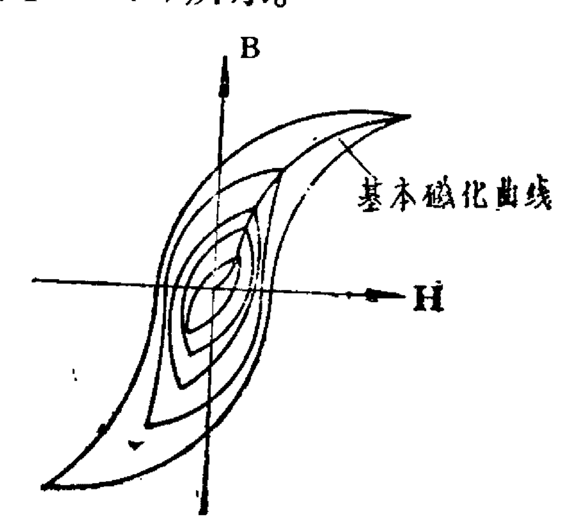


图Ⅰ—5　铁磁物质的磁化与磁滞回线

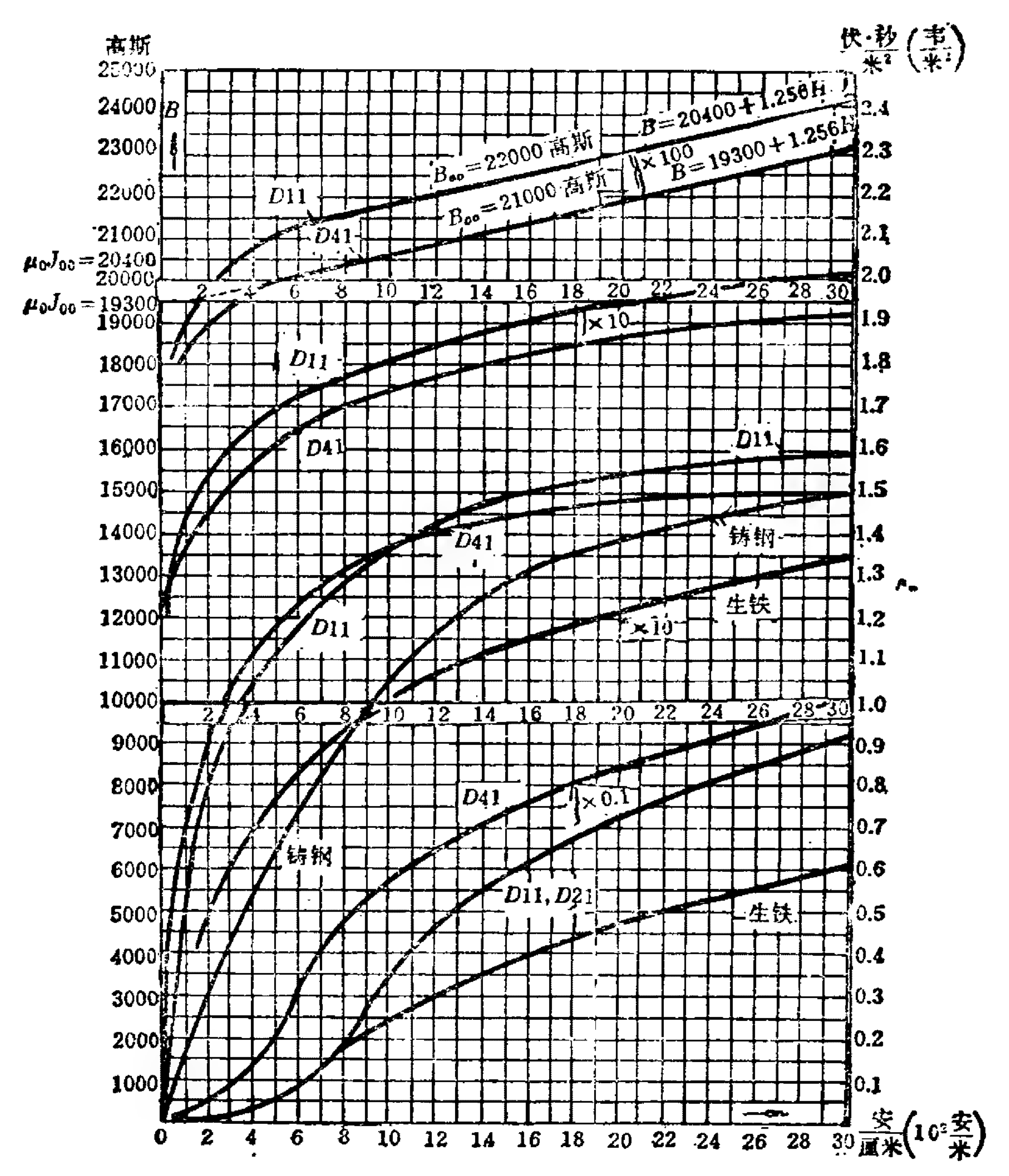
表达的B值叫做剩余磁通密度，简称"剩磁"。若要使B继续减小到零值，则必须改变电流的方向，把H的方向反过来，进行去磁过程，使曲线达到c点。这个用来去掉剩磁所需要的反向磁场强度(oc段)叫做矫顽磁力。

将反向的电流继续增加到负的最大，铁芯便反向磁化，磁化曲线沿着cd变化，H与B相应变化到$-H_m$与$-B_m$。然后又将反方向的电流逐渐减小至零，此时曲线沿de变化，出现反向剩磁。再改变磁化电流为正方向，并逐渐增加到正的最大，曲线便沿着efa′变化，H与B都相应变化到正的最大值。需要指出，由于磁滞的原因，图中a′与a并不重合，而要稍低一些，但如果在同样一个磁化电流最大值I_m（亦即同样的H_m）之下，反复磁化若干次后，结果就得到与原点对称的闭合曲线abcdefa，这个闭合曲线叫做磁滞回线，如图Ⅰ—5(b)所示。

由各条磁滞回线的正顶点连成的曲线称为基本磁化曲线，如图Ⅰ—6所示。这样，在同一个H值之下，便只有一个B值相对应，从而使得已知H值求出B值这件事变得比较简单了。当然，在进行分析和计算时，用基本磁化曲线来代替磁滞回线是有误差的，但是，对于电工上广泛应用的软磁材料来说，由于其磁滞回线比较窄，与基本磁化曲线比较接近。所以，从工程观点来看，这个误差是允许的。图Ⅰ—7所示为常用的铸钢、铸铁和电工钢片的基本磁化曲线。



图Ⅰ—6　基本磁化曲线



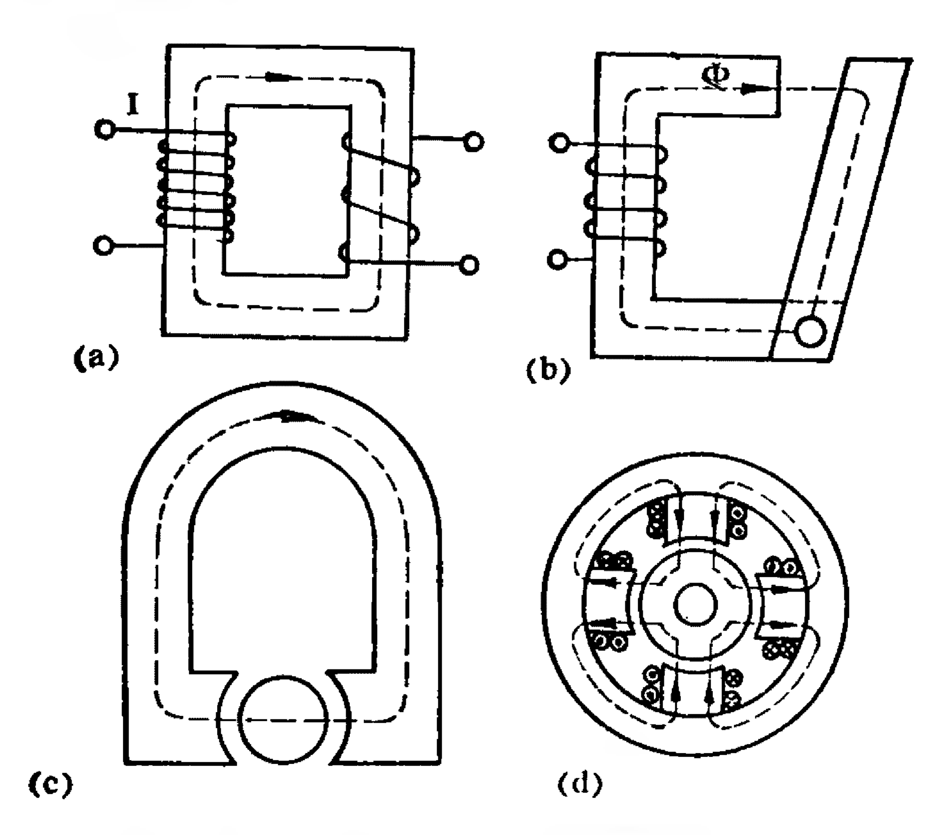
D11、D21、D41 硅钢片含 1～4% 硅，图中磁场强度H的坐标分别为×0.1，×10，×100

附Ⅰ—7　铸钢、铸铁和电工钢片的基本磁化曲线

五、磁路的基本定律

很多现代电气设备，如发电机、变压器、电磁铁及电磁式仪表等，它们的工作都需要一个较强的磁场，为此，常常应用

铁磁材料做成一定形状的铁芯，并在铁芯上缠绕线圈。当线圈通以电流后，由于铁磁材料的导磁率比周围空气大得多，因此，大部分磁通集中在铁芯构成的闭合路径，这种磁力线集中所通过的路径称为磁路。如图Ⅰ—8所示。



图Ⅰ—8　几种常见电气设备的磁路

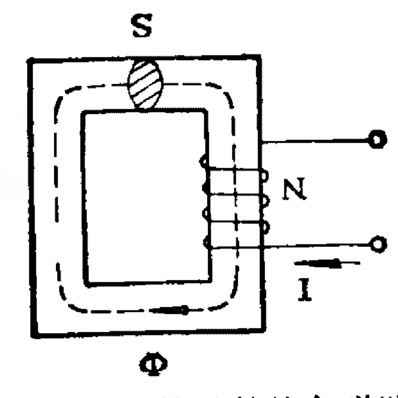
磁路的基本问题就是确定安匝(NI)、磁通(φ)和磁路结构(材料、形状、尺寸等)的关系，能为实际需要而进行计算。这一基本关系是用磁路的基本定律来表达的。磁路的基本定律有磁路的欧姆定律、磁路的基尔荷夫第一定律和磁路的基尔荷夫第二定律。

1.磁路的欧姆定律

图Ⅰ—9为一个简单的均匀磁场，铁芯由同一铁磁材料构成，并且铁芯的截面积S处处相等，设线圈匝数为N，通入线圈

的电流为I，则铁芯中的磁通ϕ，为计算方便起见，沿磁路作一条中心线，且认为截面S上各点的磁通密度或磁场强度均相等，故磁通可以表示为

$$\phi = BS = \mu HS \qquad (Ⅰ—2)$$



图Ⅰ—9 简单的均匀磁路

由于磁通ϕ都集中在磁路内，根据磁通的连续性原理可知，磁路中各横截面上所穿过的磁通ϕ都是相等的。又由于是均匀磁路（即磁路各处截面积S相等，各处的导磁率μ相等），因此，沿磁路路径各点上的磁通密度B皆相等，各点的磁场强度H皆相等，且方向与路径一致。因此，沿磁路中心线按顺时针绕行方向，根据全电流定律可得到

$$Hl = Nl \text{或} H = \frac{NI}{l} \qquad (Ⅰ—3)$$

将式（Ⅰ—3）代入式（Ⅰ—2），又得

$$\phi = \mu \cdot \frac{NI}{l} \cdot S = \frac{NI}{\frac{l}{\mu S}} \qquad (Ⅰ—4)$$

由式（Ⅰ—4）可见，NI愈大，则ϕ愈大；$\frac{l}{\mu S}$愈大，则ϕ愈小。因此把NI称做磁势，通常用符号F_c来表示；而把$\frac{l}{\mu S}$叫做磁阻，通常用符号R_c表示。这样式（Ⅰ—4）可以写成

$$\phi = \frac{NI}{\frac{l}{\mu S}} = \frac{F_c}{R_c} \qquad (Ⅰ—5)$$

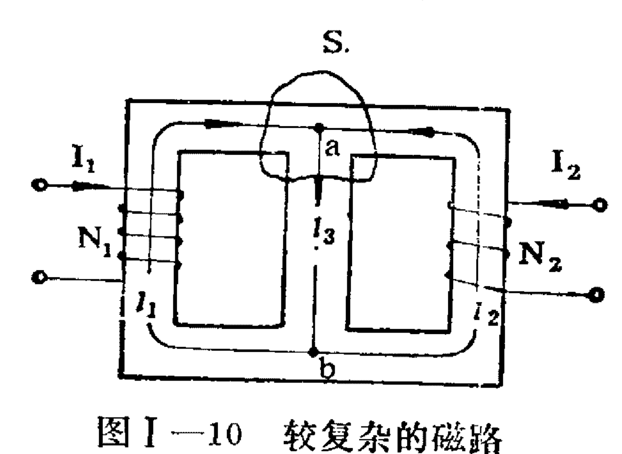
将式（Ⅰ—5）与电路的欧姆定律$I = \frac{E}{R}$相对照，二者具有完

全相似的表示形式，因此，我们把式（Ⅰ—5）称为磁路的欧姆定律。

需要指出，由于铁磁物质的导磁率μ不是常数，因而其磁路是非线性的，所以磁路的欧姆定律不能直接用来进行磁路的计算，而只能用来对磁路进行定性分析。

2. 磁路的基尔荷夫第一定律

图Ⅰ—10为一个较复杂的磁路。该磁路具有两个分支点a和b。象电路中一样，我们把三个或三个以上磁分路的交点称做磁路的结点。如果在结点处作一个封闭曲面，如图Ⅰ—10中的S，那么，根据磁通的连续性原理则有：



图Ⅰ—10　较复杂的磁路

$$\phi_1+\phi_2+\phi_3=0$$

即

$$\sum\phi=0 \qquad (Ⅰ—6)$$

这就是说，对于磁路中的任一结点，流进的磁通总是等于流出去的磁通，换言之，流入和流出该结点磁通的代数和等于零。由于这一磁路定律与电路中的基尔荷夫第一定律相似，所以我们称它为磁路的基尔荷夫第一定律，它表示出了磁路结点上各分路磁通之间的关系。

3. 磁路的基尔荷夫第二定律

在图Ⅰ—10中，对于磁路l_1和l_2两段构成的闭合磁路，取

其中心线为闭合回线，依顺时针绕行方向，根据全电流定律，则有：

$$NI_1+(-N_2I_2)=H_1l_1+(-H_2l_2)$$

即

$$\sum NI=\sum Hl \qquad (\text{I}-7)$$

同样再取磁路l_1和l_3所构成的闭合回路，仍依顺时针方向绕行，根据全电流定律，则有：

$$N_1I_1=Hl_{11}+H_3l_3$$

即

$$\sum NI=\sum Hl$$

这就是说，磁路中的任意回路，其磁势的代数和等于各段磁路磁压的代数和。它与电路中的基尔荷夫第二定律相似，所以我们把它称做磁路的基尔荷夫第二定律。

附录二　复数、向量和相量

在分析异步电动机的工作原理和运行性能时，常常需要藉助于向量图和等值电路，这就涉及到复数、向量与相量的概念和运算。下面就复数、向量和相量的基本知识作些简要介绍。

一、虚数

设一方程式为　　$x^2+1=0$

解此方程则有　　$x^2=-1$

$$x_{1,2}=\pm\sqrt{-1}$$

方程的两个根x_1和x_2不再属于实数的范围，我们把$\sqrt{-1}$叫做虚数单位，通常用字母j表示。即

$$j=\sqrt{-1}$$

$$\therefore j^2=-1$$

需要指出，虚数并不“虚”。过去，人们把$\sqrt{-1}$叫做虚数，

是误认为它是一个神秘、虚幻和不可理解的数。实数的单位是1，虚数的单位是j。虚数$\sqrt{-1}$决不是凭空产生的，而是在数的产生和发展的过程中自然而然产生的。

实际上，不仅是电学上经常用到虚数，流体力学和其它一些学科里也要用到它，而且在某些场合还非用虚数不可。

二、复数

复数的表示形式为$Z=p+qj$式中p是复数的实数部分；qj是复数的虚数部分。而p和q本身均为实数。复数是实数与虚数的统一体。

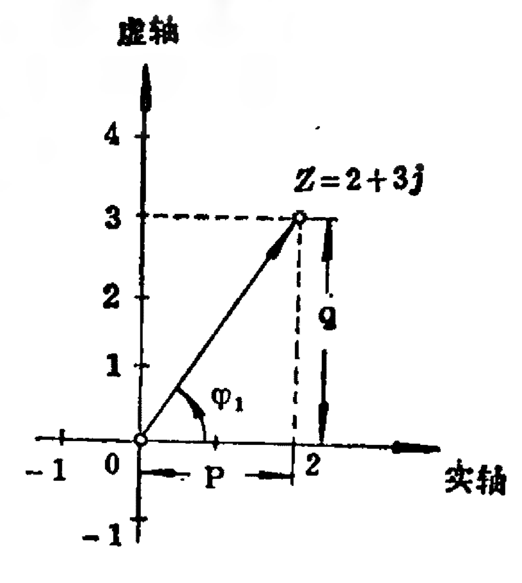
任何一个数，我们都可以将它视为一个复数，只不过是当$q=0$时，该复数便是一个实数；当$p=0$时，该复数便是一个纯虚数。例如：

$$2=2+0\cdot j \qquad j=0+1\cdot j$$

三、复数与向量

一个量，它不但有大小，而且有方向，这个量叫做向量。复数和向量可以在复平面上统一起来。

在平面上取两条互相垂直的数轴：纵轴和横轴。在纵轴上取一线段长为3，表示虚数3j；在横轴上取一线段长为2，表示实数2。那么，纵轴叫做虚轴；横轴叫做实轴。这样就在平面上得到一个点，这个点就代表复数$Z=2+3j$，这样的平面叫做复平面。如图Ⅱ—1所示。



图Ⅱ—1　复平面

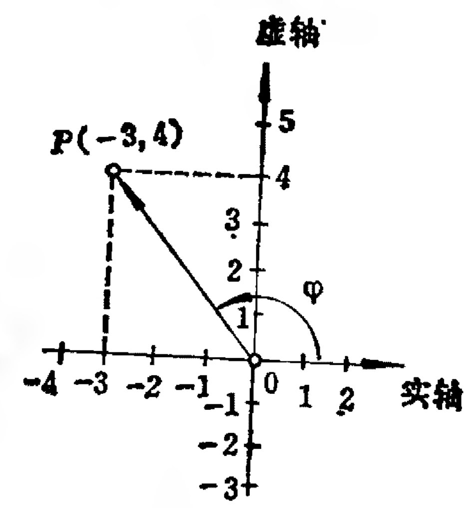
由图Ⅱ—1可见，任何一个复数，都可以在复平面上找到一个与它相对应的点；反之，复平面上的

任何一个点，都可以找到一个与它相对应的复数。可见，复数与复平面上的点是一一对应的。

从原点O起，到Z点止，画一个指向Z点的带箭头的线段，得到一个向量$\overrightarrow{OZ}$，它的长度为$\overrightarrow{OZ}$，叫做向量的模。由于复平面上的点与向量也是一一对应的，所以，复数和向量是一一对应的。因此有：

$$\overrightarrow{OZ}=Z=p+qj$$

因此，讲到复数，也就是讲向量，也就是指复平面上与之相对应的一点，这三者是等效的，如图Ⅱ—2所示。复平面上有一点p，其横坐标为－3；纵坐标为4，也就是复数－3＋4j，也就是向量$\overrightarrow{OP}$。



图Ⅱ—2　复平面上的点与向量、复数的对应关系

四、旋转向量

1.旋转因子

一个模为1的复数，其幅角为$\varphi=\omega t$（由图Ⅰ—1可见，$\varphi=\arctg\frac{q}{p}$），则幅角$\omega t$不是一个常量，而是一个随时间t变化的函数，此时该复数可写成：

$$e^{j\omega t} \qquad (Ⅱ—1)$$

这就叫做旋转因子，它是一个不断旋转的单位向量。

2.旋转向量

设有一个复数为$A=ae^{j\varphi_0}=a\angle\varphi_0$，然后用旋转因子去乘这个复数，则得：

$$A\cdot e^{j\omega t}=ae^{j\varphi_0}\cdot e^{j\omega t}=ae^{j(\varphi_0+\omega t)}=a\angle\varphi_0+\omega t \qquad (Ⅱ—2)$$

由式（Ⅱ—2）可见，其模仍旧是a，而幅角$\varphi_0+\omega t$为时间t的函

数，这就表明向量A逆时针方向旋转。$Ae^{j\omega t}$就称为旋转向量。A是旋转向量$Ae^{j\omega t}$的复振幅，也就是旋转向量在t＝0时的值，即

$$Ae^{j\omega t}|_{t=0}=A \qquad (\text{Ⅱ}—3)$$

3.旋转向量的和

设$Ae^{j\omega t}$与$Be^{j\omega t}$为两个旋转向量，那么，它们的和为

$$Ae^{j\omega t}+Be^{j\omega t}=(A+B)e^{j\omega t} \qquad (\text{Ⅱ}—4)$$

也就是说，两个旋转向量之和的复振幅等于两个旋转向量的复振幅之和。

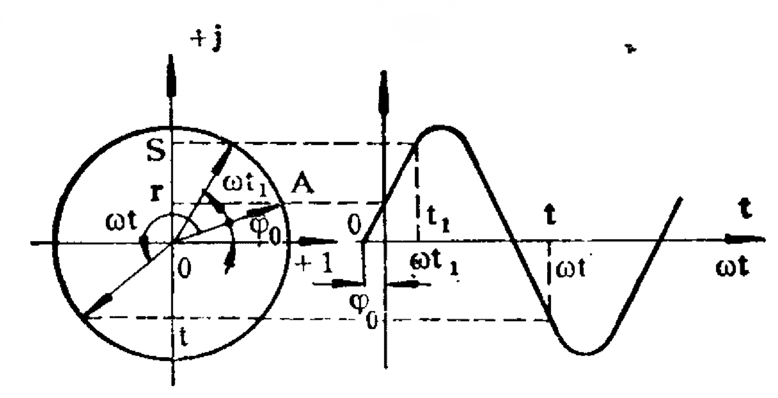
需要指出，两个旋转向量，只有在它们的角速度相同时，才能相加。如果二者的角速度不相同，则不能按式（Ⅱ—4）相加。

五、用复数表示正弦量

分析交流电路时，应用复数来表示正弦量的有效值和初相位，把正弦交流电路中的电压、电流等正弦量变换成复数形式，将正弦量的运算变为代数运算，从而使问题的分析和计算得到简化。

为什么正弦量能用复数形式来表示呢？

式（Ⅱ—2）所表示的$Ae^{j\omega t}$是一个以角速度ω、逆时针方向旋转的向量。在t＝0时，旋转向量的值即为复振幅$A=ae^{j\varphi_0}=a(\cos\varphi_0+j\sin\varphi_0)$，它和实轴的夹角为$\varphi_0$，如图Ⅱ—3所示。



图Ⅱ—3　复数和正弦量的对应关系

此时，它在虚轴上的投影为$or = a\sin\varphi_0$。当$t = t_1$时，向量逆时针方向旋转了一个角度ωt_1，此时，它与实轴的夹角是 $(\omega t_1 + \varphi_0)$，在虚轴上的投影为 $OS = a\sin(\omega t_1 + \varphi_0)$，旋转向量继续以角速度$\omega$逆时针方向旋转，它与实轴的夹角$(\omega t + \varphi_0)$随时间而不断变化，它在虚轴上任一瞬间的投影为 $ot = a\sin(\omega t + \varphi_0)$。

图Ⅱ—3中画出了旋转向量各个瞬间在虚轴上的投影。显而易见，它在虚轴上的投影是一个正弦函数。这个正弦函数的初相位就是旋转向量的复振幅$A = ae^{j\varphi_0}$的幅角φ_0，它的角频率等于旋转向量的角速度ω。

如果将式(Ⅱ—2)写成三角函数形式

$$Ae^{j\omega t} = ae^{j(\omega t+\varphi_0)}$$

$$= a\cos(\omega t + \varphi_0) + ja\sin(\omega t + \varphi_0)$$

由此可见，取出旋转向量的虚数部分，就是一个正弦时间函数，它和图Ⅱ—3中的作图分析所得的结果是完全一致的。如果已知复振幅 A，欲求出它所表示的正弦时间函数，则只要将复振幅A乘以$e^{j\omega t}$，然后取其虚数部分即可。

我们可以在复平面上用向量来表示复振幅 A，为与一般空间向量区别起见，我们把对应于某一正弦时间函数的复振幅A叫做“相量”。为与普通复数区别开来，我们在表示相量的复数上加一个圆点$\dot{A}$。由相量在复平面上作出的几何图形，就叫做相量图。

〔例〕 已知两个正弦交流电压，其瞬时值$u_1 = U_{1m}\sin(\omega t + \varphi_1)$，$u_2 = U_{2m}\sin(\omega t + \varphi_2)$。求$u_1 + u_2 = ?$

解 由于正弦交流电压u_1和u_2是相同角频率的两个正弦量，所以二者之和仍是一个频率相同的正弦量，则待求的u应为下面的形式

$$u = u_1 + u_2 = U_m \sin(\omega t + \varphi) \qquad (\text{Ⅱ}-5)$$

u_1可用相应的相量表示：$\dot{U}_{1m} = U_{1m}e^{j\varphi_1}$

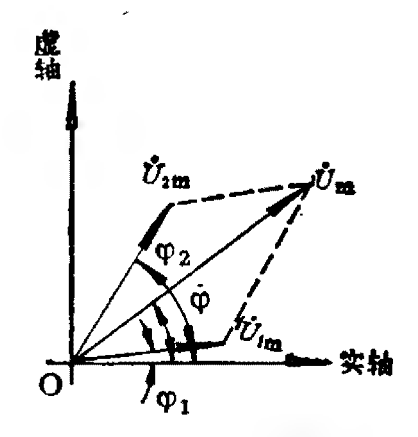
u_2可用相应的相量表示：$\dot{U}_{2m} = U_{2m}e^{j\varphi_2}$

u 可用相应的相量表示：$\dot{U}_m = U_m e^{j\varphi}$

相量$\dot{U}_{1m}$和$\dot{U}_{2m}$是已知的，待求的相量为：

$$\dot{U}_m = \dot{U}_{1m} + \dot{U}_{2m} \qquad (\text{Ⅱ}-6)$$

也可以用相量图求出$\dot{U}_m$，如图Ⅱ—4所示。得出合成电压的幅值U_m和相位角φ，就求出式(Ⅱ—5)所示的电压瞬时值u。



图Ⅱ—4　用相量求和

在电工计算中，通常是用正弦电流、电压和电势的有效值，而不是用其幅值，因此有

$$\dot{U} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}e^{j\varphi} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}\angle\varphi$$

〔例1〕　已知正弦电流为

$$i = 141\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right) \quad (\text{安培})$$

则其相量为

$$\dot{I} = \frac{141}{\sqrt{2}}\angle\frac{\pi}{3} = 100\angle 60° \quad (\text{安培})$$

〔例2〕　已知两个正弦电压为

$$u_1 = 7\sqrt{2}\sin(\omega t + 60°)$$

$$u_2 = 3\sqrt{2}\sin(\omega t + 30°)$$

求这两个正弦交流电压之和。

解　u_1和u_2的相量分别为

$$\dot{U}_1 = 7\angle 60°$$

$$\dot{U}_2 = 3\angle 30°$$

那么，$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = 7\angle 60° + 3\angle 30°$

$$= 7(\cos 60° + j\sin 60°) + 3(\cos 30° + j\sin 30°)$$

$$= 6.1 + j7.56 = 9.71\angle 51.1°$$

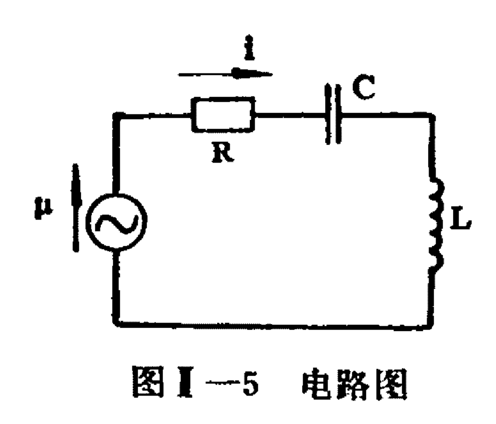
所以　$u = u_1 + u_2 = 9.71\sqrt{2}\sin(\omega t + 51.1°)$

〔例3〕　图Ⅱ—5中，$u = 220\sqrt{2}\sin(\omega t + 60°)$伏，$R = 20$欧姆，$L = 300$毫亨，$C = 50$微法，$f = 50$赫。求电流 i，并绘出各元件上电压的相量图。

解　角频率$\omega = 2\pi f = 314$

电路总阻抗

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$



图Ⅱ—5　电路图

$$= 20 + j\left(314 \times 300 \times 10^{-3} - \frac{1}{314 \times 50 \times 10^{-6}}\right)$$

$$= 20 + j(94.2 - 63.7) = 20 + j30.5$$

$$= 36.5\angle 56°45'$$

所以电路中的电流的相量为

$$\dot{I}=\frac{\dot{U}}{Z}=\frac{220\angle 60^\circ}{36.5\angle 56^\circ 45'}=6.03\angle 3^\circ 15'$$

电流的瞬时值为

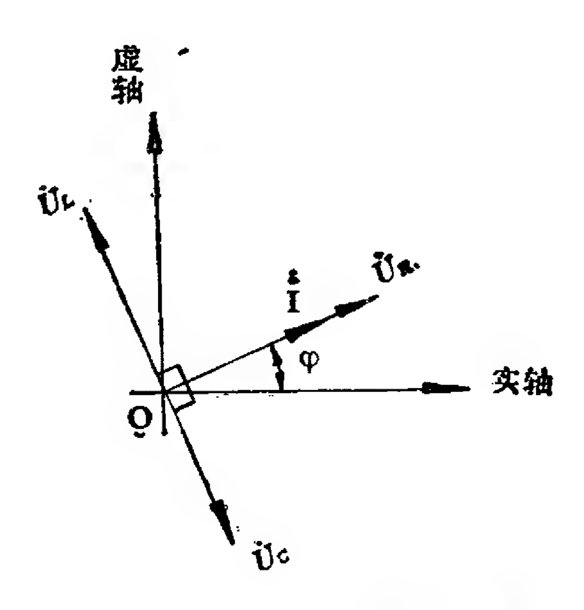
$$i=6.03\sqrt{2}\sin(\omega t+3^\circ 15')$$

电压的相量表达式为

$$\dot{U}=\dot{U}_R+\dot{U}_L+\dot{U}_C$$

$$=\dot{I}R+j\omega L\dot{I}-j\frac{\dot{I}}{\omega C}$$

其相量图如图Ⅱ—6所示。



图Ⅱ—6　电压、电流相量图

附录三 JZ型电阻分相电动机技术数据及正弦绕组的排列

型号	容量（瓦）	极数	电压（伏）	定子外径（毫米）	定子内径（毫米）	定子轭厚（毫米）	轴径（毫米）	铁芯长度（毫米）	定子槽数
JZ_1B—2	400	2	220	145	75	20.255	20	48	24
JZ_1A—4	400	4	220	145	85	21.275	20	65	36
JZ_1B—4	250	4	220	145	85	20.000	20	48	36
JZO_9A—2	250	2	220	120	60	14.850	20	65	24
JZO_9B—2	180	2	220	120	60	14.850	20	48	24
JZO_9A—4	180	4	220	120	71	15.900	20	62	24
JZO_9B—4	120	4	220	120	71	15.900	20	48	24
JZO_8A—2	120	2	220	102	52	11.140	14	60	18
JZO_8B—2	90	2	220	102	52	11.140	14	46	18
JZ_8A—4	90	4	220	102	58	10.450	14	60	24
JZO_8B—4	60	4	220	102	58	10.450	14	46	24

续附录三

转子槽数	气隙长度（毫米）	主绕组总串联导体数	副绕组总串联导体数	主绕组线规（毫米）	副绕组线规（毫米）	主绕组线重（公斤）	副绕组线重（公斤）	满载电流（安）	空载电流（安）
30	0.35	1072	532	0.90	0.44	1.12	0.124	3.01	1.43
42	0.30	1208	592	0.93	0.44	1.06	0.120	3.50	2.26
42	0.30	1520	896	0.80	0.35	0.85	0.100	2.63	2.08
18	0.30	1100	638	0.69	0.38	0.62	0.110	2.30	1.40
18	0.30	1208	792	0.68	0.31	0.628	0.080	1.84	1.30
22	0.25	1488	976	0.64	0.33	0.556	0.092	2.12	1.63
22	0.25	1900	920	0.55	0.31	0.462	0.067	1.55	1.30
15	0.30	1480	700	0.59	0.33	0.57	0.082	1.20	0.785
15	0.30	1976	724	0.53	0.35	0.558	0.086	0.93	0.555
22	0.25	2000	1072	0.51	0.27	0.428	0.061	1.25	1.05
22	0.25	2688	1192	0.44	0.27	0.376	0.059	0.92	0.75

续表 JZ型电阻分相电动机正弦绕组的排列

型号 / 绕组形式	JZ$_1$B—2 400瓦 220伏	JZ$_1$A—4 400瓦 220伏	JZ$_1$B—4 250瓦 220伏	JZO,A—2 250瓦 220伏	JZO,B—2 180瓦 220伏	JZO,A—4 180瓦 220伏	JZO,B—4 120瓦 220伏
主绕组节距和匝数	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 72 67 57 44 28	1 2 3 4 5 6 7 8 9 53 47 35 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 66 58 42 24	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 74 69 59 45 28	2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 82 76 64 50 30	1 2 3 4 5 6 7 50 86 50	1 2 3 4 5 6 7 63 111 63
副绕组节距和匝数	7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 14 22 29 32 36	5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 25 32 17	5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 39 48 25	7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 16 26 34 40 43	7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 20 33 42 50 53	4 5 6 7 8 9 10 33 56 33	4 5 6 7 8 9 10 31 53 31

续表 JZ型电阻分相电动机正弦绕组的排列

绕组形式 \ 型号	JZO_8 A—2 120瓦 220伏	JZO_8 B—2 90瓦 220伏	JZO_8A—4 90瓦 220伏	JZO_8B—4 60瓦 220伏
主绕组节距和匝数	槽号 1 2 3 4 5 6 7 8 9 匝数 128 113 84 40	槽号 1 2 3 4 5 6 7 8 9 匝数 171 151 112 60	槽号 1 2 3 4 5 6 7 匝数 67 116 67	槽号 1 2 3 4 5 6 7 匝数 90 156 90
副绕组节距和匝数	槽号 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 匝数 32 50 61 32	槽号 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 匝数 32 52 63 33	槽号 4 5 6 7 8 9 10 匝数 36 62 36	槽号 4 5 6 7 8 9 10 匝数 40 69 40

附录四　JY型电容起动式电动机技术数据及正弦绕组的排列

型　号	容量（瓦）	极数	电压（伏）	定子外径（毫米）	定子内径（毫米）	定子轭厚（毫米）	轴径（毫米）	铁芯长度（毫米）	定子槽数	转子槽数
JY_2B—2	800	2	110 220							
JY_2A—4	800	4	110 220	160	95	13.5	22	88	36	42
JY_2B—4	600	4	110 220	160	95	13.5	22	78	36	42
JY_1A—2	600	2	110 220							
JY_1B—2	400	2	110 220	145	75	19.4	20	48	24	30
JY_1A—4	400	4	110 220	145	85	12.0	20	65	36	42
JY_1B—4	250	4	110 220	145	85	12.0	20	48	36	42
JYO_9A—2	250	2	110 220	120	60	16.0	20	56	24	18
JYO_9B—2	180	2	110 220	120	60	16.0	20	48	24	18
JYO_9A—4	180	4	110 220	120	71	14.0	20	62	24	22

续附录四

气隙长度（毫米）	主绕组总串联导体数	副绕组总串联导体数	主绕组线规（毫米）	副绕组线规（毫米）	主绕组线重（公斤）	副绕组线重（公斤）	电容器容量（微法）	电容器电压（伏）	满载电流（安）	空载电流（安）
0.3	768	480	1.25	0.90	1.48	0.492	400	122	6.85 6.70	4.65 4.73
0.3	928	576	1.08	0.86	1.27	0.5	400	100	4.87 4.88	3.72 3.84
0.35	880	744	0.93	0.90	1.04	0.72	200	115	3.32 3.42	2.02 2.38
0.3	1200	820	0.93	0.64	1.04	0.348	200	110	3.64 3.69	2.35 2.60
0.3	1470	744	0.80	0.80	0.825	0.355	200	114	2.80 2.90	2.40 2.45
0.3	1192	744	0.69	0.69	0.56	0.392	150	110	2.40	1.65 1.70
0.3	1208	716	0.68	0.64	0.625	0.308	150	107	1.80 1.82	1.30 1.36
0.25	1392	816	0.64	0.59	0.52	0.246	150	105	2.25 2.50	2.00 2.20

续表 JY型电容起动式电动机正弦绕组的排列方式

型号 / 绕组形式	JY$_2$A—4 800瓦 220伏	JY$_2$B—4 600瓦 110/220伏	JY$_1$B—2 400瓦 110/220伏	JY$_1$A—2 400瓦 110/220伏	JY$_1$B—4 250瓦 110/220伏	JYO$_2$A—2 250瓦 110/220伏	JYO$_2$B—2 180瓦 110/220伏	JYO$_2$A—4 180瓦 110/220伏
主绕组节距和匝数	1 2 3 4 5 6 7 8 9 32 30 22 12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 40 36 26 14	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 62 56 50 38 14	1 2 3 4 5 6 7 8 9 52 46 34 18	1 2 3 4 5 6 7 8 9 64 56 40 24	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 82 76 60 50 30	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 82 76 64 50 30	1 2 3 4 5 6 7 46 82 46
副绕组节距和匝数	5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 20 26 14	5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 25 31 16	7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 31 40 46 50	5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 35 44 23	5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 32 40 21	7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 31 40 46 50	7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 28 39 45 48	4 5 6 7 8 9 10 27 48 27

型号	容量（瓦）	极数	电压（伏）	定子内径（毫米）	定子外径（毫米）	定子轭厚（毫米）	轴径（毫米）	铁芯长度（毫米）	定子槽数	转子槽数
JXO_7A—2	90	2	220	48	94		14	45	18	
JXO_7B—2	60	2	220	48	94		14	36	18	
JXO_7A—4	60	4	220	48	94		14	45	18	
JXO_7B—4	40	4	220	48	94		14	36	18	
JXO_6A—2	40	2	220	42	84	11	12	45	16	10
JXO_6B—2	25	2	220	42	84	11	12	35	16	10
JXO_6A—4	25	4	220	42	84	11	12	45	16	10
JXO_6B—4	15	4	220	42	84	11	12	35	16	10
JXO_5A—2	15	2	220	36	71	8	8	42	16	10
JXO_5B—2	8	2	220	36	71	8	8	30	16	10
JXO_5A—4	8	4	220	36	71	8	8	42	16	10
JXO_5B—4	4	4	220	36	71	8	8	30	16	10

气隙长度（毫米）	主绕组总串联导体数	副绕组总串联导体数	主绕组线规（毫米）	副绕组线规（毫米）	主绕组线重（公斤）	副绕组线重（公斤）	电容器电容量（微法）	电容器电压（伏）	空载电流（安）
0.28									
0.28									
0.28									
0.28									
0.25	2320	2320	0.27	0.27	0.15	0.15	2.00	240	0.303
0.25	2980	2980	0.23	0.23	0.128	0.128	1.50	275	0.217
0.25	3300	3300	0.23	0.23	0.117	0.117	2.50	265	0.43
0.25	4800	4800	0.20	0.20	0.109	0.109	1.50	275	0.223
0.25	2824	2824	0.20	0.20	0.0985	0.0985	1.00	234	0.196
0.25	4280	4280	0.15	0.15	0.0676	0.0676	0.75	237	0.132
0.25	4560	5248	0.18	0.19	0.096		1.00	262	0.197
0.25	6400	6400	0.16	0.15	0.0806	0.0708	1.00	262	0.144

续表 JX型电容运转式电动机正弦绕组的排列

型号 / 绕组形式	JXO$_6$A—2 40瓦 220伏	JXO$_6$B—2 25瓦 220伏	JXO$_6$A—4 25瓦 220伏	JXO$_6$ B—4 15瓦 220伏	JXO$_5$A—2 15瓦 220伏	JXO$_5$B—2 8瓦 220伏	JXO$_5$A—4 8瓦 220伏	JXO$_5$B—4 4瓦 220伏
主绕组节距和匝数	1 2 3 4 5 6 7 8 240 204 136	1 2 3 4 5 6 7 8 308 262 175	1 2 3 4 5 206 206	1 2 3 4 5 300 300	1 2 3 4 5 6 7 8 296 250 166	1 2 3 4 5 6 7 8 440 376 252	1 2 3 4 570	1 2 3 4 800
副绕组节距和匝数	5 6 7 8 9 10 11 12 136 204 240	5 6 7 8 9 10 11 12 175 262 308	3 4 5 6 7 206 206	3 4 5 6 7 300 300	5 6 7 8 9 10 11 12 166 250 290	5 6 7 8 9 10 11 12 252 376 440	3 4 5 6 656	3 4 5 6 800

附录六　BO系列电阻分相式单相异步电动机技术数据

电机型号	主要性能								定子铁芯			气隙长度(毫米)
	功率(瓦)	电流(安)	转速(转/分)	功率因数	效率(%)	起动电流(安)	起动转矩倍数	最大转矩倍数	外径(毫米)	内径(毫米)	长度(毫米)	
BO7112	370	3.5	2800	0.74	65	29	1.25	1.8	130	66	62	0.25
BO6332	250	2.5	2800	0.72	63	20	1.3	1.8	102	52	70	0.25
BO6322	180	1.95	2800	0.70	60	15.5	1.5	1.8	102	52	56	0.25
BO6312	120	1.43	2800	0.68	56	12.5	1.6	1.8	102	54	44	0.25
BO5622	90	1.19	2800	0.66	52	10.5	1.7	1.8	90	52	48	0.25
BO5612	60	1.01	2800	0.64	42	8	1.8	1.8	90	48	40	0.25
BO7124	370	4.17	1400	0.64	63	29	1.3	1.8	130	72	80	0.25
BO7114	250	3.05	1400	0.62	60	20	1.4	1.8	130	72	62	0.25
BO6334	180	2.44	1400	0.60	56	15.5	1.6	1.8	102	58	70	0.2
BO6324	120	1.85	1400	0.59	50	12.5	1.7	1.8	102	58	56	0.2
BO6314	90	1.60	1400	0.58	44	10.5	1.8	1.8	102	58	48	0.2
BO5624	60	1.28	1400	0.56	38	8	2.0	1.8	90	52	48	0.2
BO5614	40	1.05	1400	0.54	32	7	2.2	1.8	90	52	40	0.2

槽数		主绕组			副绕组			槽满率(%)	主要电磁负荷			空载电流(安)	副绕组起动电流(安)
定子	转子	线径	每极匝数	绕组型式	线径	每极匝数	绕组型式		气隙磁密(千高斯)	主绕组电密(安/毫米²)	副绕组电密(安/毫米²)		
24	18	0.74	218	正弦	0.49	140	正弦	62.9	5.68	6.5	81	1.75	15.35
24	18	0.62	270	正弦	0.41	125	正弦	56	4.93	7.1	106	1.52	14
24	18	0.59	352	正弦	0.38	174	正弦	65.8	4.80	5.67	82.2	1.2	9.34
24	18	0.51	379	正弦	0.38	184 反绕14	正弦	80.5	5.87	5.55	80	1.16	9.1
24	18	0.47	472	正弦	0.35	179	正弦	71.9	4.69	5.32	87.2	0.724	8.38
18	15	0.41	520	正弦	0.31	229	正弦		4.95	5.2		0.58	
24	22	0.90	126	正弦	0.41	79	正弦	74.9	6.35	6.2	92	2.92	12.17
24	22	0.80	161	正弦	0.41	123	正弦	76.6	6.36	5.8	61.5	2.37	8.11
24	22	0.67	200	正弦	0.38	89	正弦	84.5	5.45	6.2	97	1.92	11
24	22	0.57	248	正弦	0.33	109	正弦	76	5.32	6.43	91	1.59	7.77
24	22	0.53	288	正弦	0.31	128	正弦	76.6	5.33	6.25	83.5	1.21	6.3
24	22	0.41	318	正弦	0.29	126	正弦	74	5.29	8.44	88.5	1.06	5.86
24	22	0.38	374	正弦	0.27	150	正弦	76.3	5.34	8.29	81.5	0.94	4.67

附录七　CO系列电容起动式单相异步电动机技术数据

电机型号	主要性能								定子铁芯			气隙长度（毫米）
	额定功率（瓦）	电流（安）	转速（转/分）	功率因数	效率（%）	起动电流（安）	起动转矩倍数	最大转矩倍数	外径（毫米）	内径（毫米）	长度（毫米）	
CO8012	750	6.25	2800	0.78	70	37	2.5	1.8	138	74	70	0.25
CO7122	550	4.84	2800	0.76	68	29	2.5	1.8	130	66	80	0.25
CO7112	370	3.5	2800	0.74	65	21	2.5	1.8	130	66	62	0.25
CO6332	250	2.5	2800	0.72	63	15	3.0	1.8	102	52	70	0.25
CO6322	180	1.95	2800	0.70	60	12	3.0	1.8	102	52	52	0.20
CO8024	750	7.05	1400	0.7	69	37	2.5	1.8	138	84	100	0.25
CO8014	550	5.65	1400	0.67	66	29	2.5	1.8	138	84	80	0.25
CO7124	370	4.17	1400	0.64	63	21	2.5	1.8	130	72	80	0.25
CO7114	250	3.05	1400	0.62	60	15	3.0	1.8	130	72	62	0.25
CO6334	180	2.44	1400	0.60	56	12	3.0	1.8	102	58	70	0.20

续附录七

槽数		主绕组			副绕组			槽满率(%)	主要电磁负荷			电容器容量(微法)	空载电流(安)	副绕组起动电流(安)
定子	转子	线规	每极匝数	绕组型式	线规	每极匝数	绕组型式		气隙磁密(千高斯)	主绕组电密(安/毫米^2)	副绕组电密(安/毫米^2)			
24	18	1—0.67 1—0.69	146	正弦	0.62	165	正弦	77.8	6.79	7.60	48.7	200	3.55	14.7
24	18	0.9	159	正弦	0.62	140	正弦	69.6	6.09	6.40	34.6	150	2.4	10.47
24	18	0.74	218	正弦	0.53	224	正弦	71.1	5.54	6.49	30.0	100	1.73	6.65
24	18	0.62	270	正弦	0.49	189	正弦	61.2	4.93	7.10	34.8	100	1.53	6.57
24	18	0.57	301	正弦	0.41	273	正弦	81	6.15	6.45	32.8	75	1.3	4.33
36	34	1—0.72 1—0.80	93	正弦	0.64	98	正弦	74.5	6.65	6.63	43.2	200	4.75	14
36	34	2—0.69	116	正弦	0.57	112	正弦	75.7	6.63	6.15	40.8	150	4.25	10.5
24	22	0.9	126	正弦	0.49	131	正弦	75.8	6.34	6.23	41.1	100	2.88	7.76
24	22	0.8	161	正弦	0.41	147	正弦	76.6	6.36	5.84	43.6	100	2.42	5.75
24	22	0.67	200	正弦	0.41	114	正弦	84.5	5.45	6.20	48.2	100	1.895	6.38

附录八　DO系列电容运转式单相异步电动机技术数据

电机型号	主要性能								定子铁芯			气隙长度(毫米)
	额定功率(瓦)	电流(安)	转速(转/分)	功率因数	效率(%)	起动电流(安)	起动转矩倍数	最大转矩倍数	外径(毫米)	内径(毫米)	长度(毫米)	
DO6312	180	1.42	2800	0.88	65	7	0.35	1.6	102	54	44	0.25
DO5622	120	1.0	2800	0.88	62	5	0.35	1.6	90	48	48	0.25
DO5612	90	0.82	2800	0.86	58	3.2	0.35	1.6	90	48	38	0.25
DO5022	60	0.55	2800	0.86	53	2.5	0.5	1.6	80	43	46	0.25
DO5012	40	0.45	2800	0.84	48	2	0.7	1.6	80	43	35	0.25
DO4522	25	0.32	2800	0.84	42	1.5	0.7	1.6	71	38	45	0.2
DO4512	15	0.23	2800	0.82	36	1	0.7	1.6	71	38	45	0.2
DO6324	180	1.67	1400	0.86	57	7	0.35	1.6	102	60	55	0.25
DO6314	120	1.2	1400	0.86	53	5	0.35	1.6	102	60	44	0.25
DO5624	90	0.97	1400	0.84	49	3.2	0.35	1.6	90	52	48	0.2
DO5614	60	0.72	1400	0.84	45	2.5	0.35	1.6	90	52	38	0.2
DO5024	40	0.52	1400	0.82	40	2	0.7	1.6	80	42	44	0.15
DO5014	25	0.35	1400	0.82	35	1.5	0.7	1.6	80	42	34	0.15
DO4524	15	0.28	1400	0.80	30	1	0.7	1.6	71	38	45	0.2
DO4514	8	0.2	1400	0.80	23	0.8	0.7	1.6	71	38	45	0.2

槽数		主绕组			副绕组			槽满率(%)	主要电磁负荷			电容器容量(微法)	空载电流(安)
定子	转子	线规	每极匝数	绕组型式	线规	每极匝数	绕组型式		气隙磁密(千高斯)	主绕组电密(安/毫米²)	副绕组电密(安/毫米²)		
24	18	0.44	341	正弦	0.33	510	正弦	74.6	6.34	3.44	8.71	6	1.29
18	12	0.41	400	正弦	0.27	640	正弦	84	5.38	2.97	9.00	4	0.66
18	12	0.33	500	正弦	0.27	650	正弦	75.7	5.18	3.67	7.47	4	0.63
24	18	0.29	550	正弦	0.23	778	正弦	68.7	4.26	6.42	8.46	2	0.474
24	18	0.25	700	正弦	0.19	920	正弦	62.1	4.16	6.53	9.65	2	0.38
12	15	0.25	698	正弦	0.2	1369	正弦	81.9	4.53	1.19	5.33	1	0.373
12	15	0.23	823	正弦	0.19	1258	正弦	75.7	3.91	0.625	4.96	1	0.249
24	22	0.44	213	正弦	0.33	355	正弦	75.8	6.48	4.62	9.71	6	1.73
24	22	0.38	265	正弦	0.29	460	正弦	76	6.41	5.32	8.05	4	1.28
24	18	0.31	260	正弦	0.29	420	正弦	83	6.2	5.8	9.35	4	1.23
24	18	0.29	350	正弦	0.27	460	正弦	84.5	5.82	6.65	8.62	4	0.84
24	18	0.27	373	正弦	0.2	598	正弦	88.8	6.05	5.83	8.43	2	0.565
24	18	0.25	504	正弦	0.18	523	正弦	87.7	5.81	6.11	8.17	2	0.382
12	15	0.21	523	正弦	0.17	670	正弦	72.5	3.87	8.79	5.39	1	0.388
12	15	0.2	575	正弦	0.16	650	正弦	67.2	3.59	7.96	5.94	1	0.275

附录九　电磁线的牌号及主要用途

电磁线名称	牌号	主要用途
油性漆包圆铜线	Q	供制造电机、电器和仪表的绕组用
高强度聚乙烯醇缩醛漆包圆铜线 高强度聚乙烯醇缩醛漆包扁铜线	QQ QQB	适用于机械强度和电气性能要求较高而不需纤维材料保护漆层的电机、电器和仪表的绕组
高强度聚脂漆包圆铜线 高强度聚脂漆包扁铜线	QZ QZB	同上，并且有热稳定性及抗溶性
高强度聚胺酯漆包圆铜线	QA	同QQ型，但不需去除漆层便可直接用焊锡焊接
高强度环氧漆包圆铜线	QH	同QQ型，耐潮性好，适用于湿热带电机电器
单丝（天然丝）漆包圆铜线 单丝（人造丝）漆包圆铜线 单纱漆包圆铜线	QST QSR QM	供制造小型和特殊电机、电器以及仪表的绕组之用
单纱包圆铜线 单纱包扁铜线 双纱包圆铜线 双纱包扁铜线	M MB ME MEB	供制造电机、电器的绕组用，但为了节约棉纱，可用其他牌号的电磁线代用
单玻璃丝包高强度缩醛漆包圆铜线 单玻璃丝包高强度聚酯漆包圆铜线	QQSBC QZSBC	用于工作温度为－60°～＋120℃的、防潮的电机、电器绕组
双玻璃丝包圆铜线 双玻璃丝包扁铜线 三玻璃丝包扁铜线	SBEC SBECB SBSB	同上，但工作温度为-60°～＋150℃
聚酰胺—亚胺高强度漆包圆铜线	QXY	

续表

电磁线名称	牌号	主要用途
耐冷冻剂漆包圆铜线		
彩色高强度聚乙烯醇缩醛漆包圆铜线	QQS	
耐高温聚酰亚胺漆包圆铜线	QY	

附录十　漆包圆铜线常用数据表

裸导线标称直径（毫米）	裸导线截面积（毫米²）	20℃时的直流电阻值（欧/千米）	75℃时的直流电阻值（欧/千米）	漆包线最大外径（毫米）		单位长度漆包线近似重量（公斤/千米）	
				Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS	Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS
0.020	0.00031	55587			0.035		
0.025	0.00049	35574			0.040		
0.030	0.00071	24704			0.045		
0.040	0.00126	13920			0.055		
0.050	0.00196	8949	11060	0.065	0.065	0.019	0.022
0.060	0.00283	6198	7660	0.075	0.090	0.027	0.029
0.070	0.00385	4556	5640	0.085	0.100	0.036	0.039
0.080	0.00503	3487	4320	0.095	0.110	0.047	0.050
0.090	0.00636	2758	3410	0.105	0.120	0.059	0.063
0.100	0.00785	2237	2770	0.120	0.130	0.073	0.076
0.110	0.00950	1846	2290	0.130	0.140	0.088	0.092
0.120	0.01131	1551	1918	0.140	0.150	0.104	0.108
0.130	0.01327	1322	1630	0.150	0.160	0.122	0.126
0.140	0.01359	1139	1410	0.160	0.170	0.141	0.145
0.150	0.01767	993	1227	0.170	0.190	0.162	0.167
0.160	0.02010	872	1080	0.180	0.200	0.184	0.189
0.170	0.02270	773	956	0.190	0.210	0.208	0.213
0.180	0.02550	689	852	0.200	0.220	0.233	0.237
0.190	0.02840	618	765	0.210	0.230	0.259	0.264
0.200	0.03140	558	692	0.225	0.240	0.287	0.292
0.210	0.03460	506	628	0.235	0.250	0.316	0.321
0.230	0.04150	422	524	0.255	0.280	0.378	0.386
0.250	0.04910	357	443	0.275	0.300	0.446	0.454
0.270	0.05730	306	379	0.31	0.320	0.522	0.529

续表

漆包圆铜线常用数据表

裸导线标称直径（毫米）	裸导线截面积（毫米^2）	20℃时的直流电阻值（欧/千米）	75℃时的直流电阻值（欧/千米）	漆包线最大外径（毫米）		单位长度漆包线近似重量（公斤/千米）	
				Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS	Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS
0.29	0.0661	265	329	0.33	0.34	0.601	0.608
0.31	0.0755	232	285	0.35	0.36	0.689	0.693
0.33	0.0855	205	254	0.37	0.38	0.780	0.784
0.35	0.0962	182	226	0.39	0.41	0.876	0.884
0.38	0.1134	155	191.3	0.42	0.44	1.03	1.04
0.41	0.1320	133	164	0.45	0.47	1.20	1.21
0.44	0.1521	115	142.5	0.49	0.50	1.38	1.39
0.47	0.1735	101	125.0	0.52	0.53	1.57	1.58
0.49	0.1886	93	115.0	0.54	0.55	1.71	1.72
0.51	0.2040	85.9	106.2	0.56	0.58	1.86	1.87
0.53	0.2210	79.5	98.2	0.58	0.60	2.00	2.02
0.55	0.2380	73.7	91.2	0.60	0.62	2.16	2.17
0.57	0.2550	68.7	85.2	0.62	0.64	2.32	2.34
0.59	0.2730	64.1	79.5	0.64	0.66	2.48	2.50
0.62	0.3020	58.0	72.0	0.67	0.69	2.73	2.76
0.64	0.3220	54.5	67.4	0.69	0.72	2.91	2.94
0.67	0.3530	49.7	61.5	0.72	0.75	3.19	3.21
0.69	0.3740	46.9	58.0	0.74	0.77	3.38	3.41
0.72	0.4070	43.0	53.3	0.78	0.80	3.67	3.70
0.74	0.4300	40.7	50.5	0.80	0.83	3.89	3.92
0.77	0.4660	37.6	46.5	0.83	0.86	4.21	4.24
0.80	0.5030	34.8	43.1	0.86	0.89	4.55	4.58
0.88	0.5410	32.4	40.1	0.89	0.92	4.89	4.92
0.86	0.5810	30.1	37.3	0.92	0.95	5.25	5.27

漆包圆铜线常用数据表

裸导线标称直径（毫米）	裸导线截面积（毫米²）	20℃时的直流电阻计算值（欧/千米）	75℃时的直流电阻计算值（欧/千米）	漆包线最大外径（毫米）		单位长度漆包线的近似重量（公斤/千米）	
				Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS	Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS
0.90	0.636	27.5	34.1	0.96	0.99	5.75	5.78
0.93	0.679	25.8	31.9	0.99	1.02	6.13	6.16
0.96	0.724	24.2	30.0	1.02	1.05	6.53	6.56
1.00	0.785	22.4	27.6	1.07	1.11	7.10	7.14
1.04	0.850	20.6	25.6	1.12	1.15	7.67	7.72
1.08	0.916	19.17	23.7	1.16	1.19	8.27	8.32
1.12	0.985	17.68	22.0	1.20	1.23	8.89	8.94
1.16	1.057	16.68	20.6	1.24	1.27	9.53	9.59
1.20	1.131	15.5	19.17	1.28	1.31	10.2	10.4
1.25	1.227	14.3	17.68	1.33	1.36	11.1	11.2
1.30	1.327	13.2	16.35	1.38	1.41	12.0	12.1
1.35	1.431	12.3	14.10	1.43	1.46	12.9	13.0
1.40	1.539	11.3	13.90	1.48	1.51	13.9	14.0
1.45	1.651	10.6	13.13	1.53	1.56	14.9	15.0
1.50	1.767	9.93	12.28	1.58	1.61	15.9	16.0
1.56	1.911	9.17	11.35	1.64	1.67	17.2	17.3
1.62	2.06	8.50	10.5	1.71	1.73	18.5	18.6
1.68	2.22	7.91	9.78	1.77	1.79	19.9	20.0
1.74	2.38	7.37	9.12	1.83	1.85	21.4	21.4
1.81	2.57	6.81	8.45	1.90	1.93	23.1	23.3
1.88	2.78	6.31	7.80	1.97	2.00	25.0	25.2
1.95	2.99	5.87	7.26	2.04	2.07	26.8	27.0
2.02	3.21	5.47	6.78	2.12	2.14	28.9	29.0
2.10	3.46	5.06	6.27	2.20	2.23	31.2	31.3
2.26	4.01	4.37	5.41	2.36	2.39	36.2	36.3
2.44	4.68	3.75	4.63	2.54	2.57	42.1	42.2

附录十一　中国线规与近似英规对照表

中国线规		近似英规（S、W、G）		中国线规		近似英规（S、W、G）	
直　径（毫米）	标称截面积（毫米²）	线号	直　径（毫米）	直　径（毫米）	标称截面积（毫米²）	线号	直　径（毫米）
0.05	0.00196	47	0.0508	0.31	0.0755	30	0.315
0.06	0.00283	46	0.0610	0.33	0.0855		
0.07	0.00385	45	0.0711	0.35	0.0962	29	0.345
0.08	0.00503	44	0.0813	0.38	0.1134	28	0.376
0.09	0.00636	43	0.0914	0.41	0.1320	27	0.417
0.10	0.00785	42	0.102	0.44	0.1521	26	0.457
0.11	0.00950	41	0.112	0.47	0.1735		
0.12	0.01131	40	0.122	0.49	0.1886		
0.13	0.01327	39	0.132	0.51	0.204	25	0.508
0.14	0.01539			0.53	0.221		
0.15	0.01767	38	0.152	0.55	0.238	24	0.559
0.16	0.0201			0.57	0.255		
0.17	0.0227	37	0.173	0.59	0.273	23	0.610
0.18	0.0255			0.62	0.302		
0.19	0.0284	36	0.193	0.64	0.322		
0.20	0.0314			0.67	0.353		
0.21	0.0346	35	0.213	0.69	0.374	22	0.712
0.23	0.0415	34	0.234	0.72	0.407		
0.25	0.0491	33	0.254	0.74	0.430		
0.27	0.0573	32	0.274	0.77	0.466		
0.29	0.0661	31	0.295	0.80	0.503	21	0.813
0.83	0.541	21	0.813	1.81	2.57	15	1.829
0.86	0.581			1.88	2.78		

续表　中国线规与近似英规对照表

中国线规 直径（毫米）	中国线规 标称截面积（毫米²）	近似英规（S、W、G） 线号	近似英规（S、W、G） 直径（毫米）
0.90	0.636	20	0.914
0.93	0.679		
0.96	0.724		
1.00	0.785	19	1.016
1.04	0.850		
1.08	0.916		
1.12	0.985		
1.16	1.057		
1.20	1.131	18	1.219
1.25	1.227		
1.30	1.327		
1.35	1.431		
1.40	1.539	17	1.422
1.45	1.651		
1.50	1.767		
1.56	1.911		
1.62	2.06	16	1.626
1.68	2.22		
1.74	2.38		

中国线规 直径（毫米）	中国线规 标称截面积（毫米²）	近似英规（S、W、G） 线号	近似英规（S、W、G） 直径（毫米）
1.95	2.99		
2.02	3.21	14	2.032
2.10	3.46		
2.26	4.01	13	2.337
2.44	4.68		
2.63	5.43	12	2.642
2.83	6.29	11	2.946
3.05	7.31	10	3.251
3.28	8.45		
3.53	9.79	9	3.658
3.8	11.34	8	4.064
4.1	13.2		
4.5	15.9	7	4.470
4.8	18.1	6	4.877
5.2	21.24		
5.5	23.76	4	5.893
6.0	28.3		
6.5	33.2	3	6.401
7.0	38.5	2	7.010

附录十二　常用的几种浸渍绝缘漆

名　称	沥　青　漆	清　漆	醇酸树脂漆
成分	石油沥青与干性植物油和松脂酸盐经熬制而成	干性油（桐油或亚麻仁油）与松香或甲酚甲醛树脂聚合后溶于有机溶液中	甘油、苯二甲酸酐、干性植物油和松香，经加热聚合后溶于有机溶剂中
性能	漆膜较有弹性，柔软，具有耐潮湿、耐温度变化的性能	烘干迅速，具有耐油性和耐潮湿性	漆膜坚硬耐油，粘合力强，具有较高的耐油性和耐电弧性
用途	适于浸渍电机转子和定子线圈，不要求耐油的电器零件、部件及用于热带高湿度条件下的电气设备	适用于电机线圈的浸渍用	适用于浸渍油中工作的变压器、电器线圈及受到酸性化学试剂侵蚀的电机线圈以及覆盖用
溶剂	1.汽油 2.酒精 3.松节油与甲苯等量混合溶剂	1.松节油 2.汽油 3.漆用煤油	甲苯与酒精等量混合溶剂
牌号	1010沥青漆 1011沥青漆 1210沥青漆	1014甲酚清漆 1012耐油清漆	1030醇酸漆 1031丁基酚醛醇酸漆 1032三聚氰胺醇酸漆
绝缘等级	A级	A级	B级

注：凡是油基漆包线或单纱漆包线制成的绕组所浸漆的溶剂，不能用甲苯、苯、二甲苯或汽油等强溶剂，而只能用松节油，否则对漆包线的漆膜破坏很大，可能造成绕组的匝间短路。

表2—4—10 几种常用单相电动机的比较表

比较项目 \ 电动机		分相电动机	电容起动式电动机	电容运转式电动机	电容起动电容运转式电动机	罩极式电动机	单相串激式电动机
电动机结构	定子绕组的组成	主绕组、起动绕组	主绕组、起动绕组	主绕组、副绕组	主绕组、副绕组	主绕组、罩极绕组	激磁绕组
	转子	鼠笼式	鼠笼式	鼠笼式	鼠笼式	鼠笼式	线绕式
	起动装置	起动继电器或离心开关	起动继电器或离心开关	—	起动继电器或离心开关	—	—
	辅助装置	—	起动用电容器	运转用电容器	起动和运转用电容器	—	—
	等效电路	起动 主 K U~	C 起动 主 K U~	C 副 主 U~	C_2 C_1 副 主 K U~	罩 主 U~	U~ D
电动机特性	起动电流 (I_n/I_H)	6～7	4～5	3～5	4～5	2～4	6以上
	转矩特性曲线	M O n	M O n	M O n	M O n	M O n	M O n
	起动转矩 (M_n/M_H)	1.2～2	2.5～3.5	0.3～1	2.5～3.5	0.3～0.8	3～6
	功率因数	0.4～0.75	0.4～0.75	0.7～1	0.8～1	0.4～0.75	0.7～0.8
主要优缺点		1.价格低，应用广泛； 2.起动电流大，起动转矩较小。	1.造价稍高； 2.起动电流较大，起动转矩较大。	1.无起动装置，构造较简单，工作可靠； 2.功率因数较高； 3.起动转矩小。	1.附件多，结构复杂，价格较高； 2.起动电流较大； 3.起动转矩较大； 4.功率因数高。	1.结构最简单，价格低，工作可靠； 2.起动转矩最小； 3.效率低。	1.起动转矩很大，起动电流大； 2.转速高，体积小； 3.转子结构复杂； 4.价格贵。
应用范围		1.单相鼓风机； 2.用作起动转矩较小的一般动力，如钻床、研磨机、搅拌机等。	1.起动转矩要求大的场合； 2.用于井泵、冷冻机、压缩机等。	1.起动转矩小的场合，如电风扇； 2.起动与停止频繁的场合； 3.需要正反转的机械。	1.要求起动转矩大的机械； 2.要求功率因数高的场合。	1.功率小，要求起动转矩小的场合； 2.多用于电风扇、电唱机、仪器仪表等。	1.要求起动转矩大，或转速高的机械； 2.多用于吸尘器、手提电动工具等。